



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

Ana Cristina Alves Garcêz

Avaliação da Distribuição Espacial de Dados Biológicos
via Krigagem e Simulação Condicional

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Co-Orientador: Prof. Paulo Roberto Silva Farias, *Ph.D*

Belém
2009

Ana Cristina Alves Garcêz

Avaliação da Distribuição Espacial de Dados Biológicos
via Krigagem e Simulação Condicional

Orientador: Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*

Co-Orientador: Prof. Paulo Roberto Silva Farias, *Ph.D*

Belém
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Garcêz, Ana Cristina Alves, 1981 -

Avaliação da distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional. / Ana Cristina Alves Garcêz; orientador, Edson Marcos Leal Soares Ramos. — 2009

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, Belém, 2009.

1. Estatística. 2. *Aedes aegypti* - Métodos estatísticos. 3. Cigarrinha (Insetos) - Métodos estatísticos. I. Título.

CDD - 22. ed. 519.5

Ana Cristina Alves Garcêz

**Avaliação da Distribuição Espacial de Dados Biológicos
via Krigagem e Simulação Condicional**

Belém, 19 de junho de 2009

Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre, no Curso de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, da Universidade Federal do Pará.

Prof. Mauro de Lima Santos, *Dr.*

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística

Banca Examinadora

Prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos, *Dr.*
Universidade Federal do Pará

Orientador

Prof. Paulo Roberto Silva Farias, *Ph.D*
Universidade Federal Rural da Amazônia

Co-Orientador

Profa. Silvia dos Santos de Almeida, *Dra.*
Universidade Federal do Pará

Examinadora

Prof. Manoel Domingos Filho, *Dr.*
Universidade Federal do Acre

Examinador

Prof. João Marcelo Brazão Protázio, *Dr.*
Universidade Federal do Pará

Examinador

À Deus e minha família.

Agradecimentos

- ★ A Deus todo poderoso, que me concedeu a vida e a inspiração necessária para chegar ao final deste trabalho;
- ★ Aos meus pais, Jurandi Garcêz e Letícia Garcêz, pelo carinho, amor, paciência, amizade e confiança depositada à minha pessoa. Fatores estes, importantes para o cumprimento de mais essa etapa em minha vida;
- ★ Às minhas amadas irmãs Cinthia Garcêz e Sílvia Garcêz, pelo companheirismo, apoio e incentivo que sempre me deram;
- ★ Ao meu namorado, Dennison Carvalho, pelo carinho, amor, paciência, orações e pela força que sempre me deu para enfrentar todas as dificuldades que apareceram no decorrer da minha vida pessoal e acadêmica;
- ★ À todas as pessoas que eu amo, em especial Maria Niracy Tavares, Michelle Tavares, Ronaldo Corrêa e à Família Carvalho, por sempre terem acreditado em mim e desejarem o meu sucesso nessa vida;
- ★ Às minhas amigas Elisângela Pau Brasil, Sâmia Mota, Patrícia Rodrigues e Walquíria Bernado, companheiras desde a minha graduação, por todo amor, carinho, amizade e momentos especiais que sempre me proporcionaram;
- ★ Às amigas Jaciane Ribeiro e Natália Barros, pela força, coragem, amizade, cumplicidade, momentos de estudo e diversão;
- ★ Ao meu orientador, professor Dr. Edson Ramos, pelos ensinamentos ao longo do curso;
- ★ Ao meu co-orientador, professor Ph.D. Paulo Farias, pela atenção, simpátia e confiança depositada em mim para a realização deste trabalho;
- ★ Ao Prof. Dr. João Marcelo Protázio, pela atenção, paciência, ensinamentos prestados e grande cooperação na conclusão deste trabalho;
- ★ À Marcelo Neiva e Valéria Sá pela atenção, paciência e cooperação ao meu trabalho;
- ★ À Universidade Federal do Pará (UFPA) pela oportunidade de concluir um curso de pós-graduação;
- ★ Ao Programa de Pós Graduação em Matemática e Estatística da UFPA; representado pelo Prof. Dr. Mauro Santos;
- ★ À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro destinado à este trabalho;
- ★ Aos professores que contribuíram de alguma forma na minha formação;

★ Finalmente, a todos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Quando você está inspirado por algum grande propósito, os seus pensamentos deixam as suas obrigações, transcende a sua mente. Sua consciência se desdobra em todas as direções e você descobre que você mesmo é uma pessoa muito maior do que sempre sonhou.”

(Patanjali)

Resumo

GARCÊZ, Ana Cristina A. Avaliação da Distribuição Espacial de Dados Biológicos via Krigagem e Simulação Condicional. 2009. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística) - PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar a distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional. O trabalho envolve três etapas principais: um estudo sobre fenômenos biológicos; uma visão geral sobre geoestatística, as técnicas krigagem e simulação condicional, e os principais resultados do trabalho. No estudo sobre fenômenos biológicos faz-se um breve relato a respeito do vetor *Aedes aegypti*, Dengue, *Xylella fastidiosa* e o vetor Cigarrinha. Na visão sobre geoestatística mostram-se seus principais conceitos e a diferença entre krigagem e simulação condicional. Dentre os principais resultados obtidos neste trabalho, destaca-se que para o estudo feito em dois bairros de Macapá sobre o vetor *Aedes aegypti*, mostrou que nos dois períodos estudados, os maiores números de incidência de larvas, foram registrados para o período chuvoso; sendo o bairro Cidade Nova o que obteve uma maior incidência de larvas do vetor *A. aegypti*, onde os depósitos fixos e fossa apresentam um aumento na incidência de larvas para os períodos estudados. Em relação à modelagem geoestatística para este vetor observou-se que para os dois períodos estudados, tanto o bairro Trem quanto o bairro Cidade Nova apresentaram o modelo exponencial como o modelo que melhor se ajustou aos dados. Em relação a estimação por krigagem indicativa, observa-se que para o bairro Trem a incidência de larvas tanto para o período seco como para o período chuvoso foram semelhantes e aleatórios quanto à disposição no espaço, porém para o período chuvoso nota-se algumas áreas com uma incidência um pouco maior que para o período seco. Já para o bairro Cidade Nova verifica-se uma diferença entre a distribuição temporal da incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos dois períodos estudados, sendo o período chuvoso o que apresentou maior incidência de larvas desse vetor. Para o estudo sobre a incidência do vetor Cigarrinha em plantas cítricas, nos períodos de Março de 2000 à Dezembro de 2001 realizado em uma fazenda no interior de São Paulo, observa-se que 64% destas plantas estavam infestadas. Das amostras feitas mensalmente nas plantas, o mês de março de 2001 e dezembro de 2001 apresentam o maior percentual de incidência, com 12,38% e 23,34%, respectivamente. Já o mês de outubro de 2000 e setembro de 2001 apresentam o menor percentual de incidência, com 1,90% e 4,76%, respectivamente. Ao analisar os modelos ajustados para a incidência do vetor Cigarrinha, observa-se que todos os modelos estudados apresentaram um coeficiente de determinação acima de 0,94, correspondendo a um ótimo ajuste e baixa variabilidade das semivariâncias. A partir dos mapas de krigagem verifica-se que os meses Março/2001,

Agosto/2001, Outubro/2001 e Dezembro/2001 referente as estações do outono, inverno, primavera e verão, respectivamente, apresentam as maiores infestações de cigarrinhas. O procedimento de simulação sequencial por indicação foi aplicado, utilizando-se os conjunto de dados em estudo, uma grade regular formada por 200 linhas x 200 colunas e os modelos teóricos de semivariogramas analisados, com base nessas informações foram geradas 100 simulações condicionais. Para avaliar os métodos de estimação usados nos dados em estudo, utilizou-se a visualização de mapas geoestatísticos, onde tem-se os mapas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, bem como, a média, o desvio e o coeficiente de variação dos valores observados e dos estimados por krigagem indicativa e simulação condicional. Ao avaliar a incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos bairros Trem e Cidade Nova nos períodos seco e chuvoso, e do vetor cigarrinhas em plantas cítricas, para os meses que apresentaram o maior índice de infestação, sendo estes Março, Agosto, Outubro e Dezembro de 2001 observa-se que para ambos estudos, os mapas estimado por krigagem indicativa e da média das 100 simulações condicionais apresentaram resultados semelhantes, porém a diferença entre eles está na superfície da região, enquanto o mapa estimado por krigagem produz a variação espacial mais suavizada dos valores reais, o mapa da média das 100 simulações condicionais representa melhor a variabilidade dos dados. A partir das medidas estatística apresentadas, verifica-se que só a média não é suficiente para afirmar qual o melhor método aplicado aos estudos realizado neste trabalho, pois as médias dos estimadores são aproximadamente iguais a dos valores observados. E, para estes estudos, nota-se que o desvio e o coeficiente de variação da simulação condicional em relação ao desvio e o coeficiente de variação da krigagem indicativa, foi mais próximo do desvio e do coeficiente de variação dos valores observados. Indicando assim, que o método de estimação mais adequado para a incidência de larvas do vetor *A. aegypti* e de incidência do vetor Cigarrinha em plantas cítricas, foi o método de estimação por simulação sequencial condicionada por indicação.

Palavras-Chave: *Aedes aegypti*, Cigarrinha, Krigagem, Simulação Condicional.

Abstract

GARCÊZ, Ana Cristina A. Evaluation of Space Distribution of Biological Data via Kriging and Conditional Simulation. 2009. Dissertation (Master in Mathematics and Statistics) - PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brazil.

This paper has as a main objective to evaluate the space distribution of biological data via Krigagem and conditional simulation. This paper involves three stages: a study of biological phenomena; a general vision about geostatistics, the kriging techniques and conditional simulation; and the principal results of the paper. In the study about the biological phenomena it is made a brief report about the vector *Aedes aegypti*, Dengue, *Xylella fastidiosa* and the vector leafhopper. In the vision about geostatistics it is shown the main concepts and the difference between kriging and the conditional simulation. Among the principal results obtained in this paper it is highlighted the study that was made in two different neighborhoods in Macapá city about the vector *Aedes aegypti*, it showed that in both periods that this vector was studied, the rainy season was the period with the greatest number of larvae; and the Cidade Nova neighborhood was the most affected by these larvae of the vector *A. aegypti*, where fossa and fixed deposits present an increased number of larvae to the studied periods. Related to geostatistical modeling to this vector it was observed that in both periods, both neighborhoods (Trem and Cidade Nova) present the Exponential Model as the model that fits better to the data. Related to the indicative kriging it is observed that for neighborhood Trem the incidence of larvae in the dry and rainy season were the same and random in the arrangement of the space, but in the rainy season it can be noticed some areas with a bigger incidence than in dry season. In Cidade Nova neighborhood it is verified some differences in the incidence weather distribution of the larvae of the vector *A. aegypti* in the two seasons that were studied, the rainy season presented bigger incidence in the larvae of this vector. For the study about the incidence of the vector leafhopper in citrus plants in the period from March of 2000 to December of 2001 realized in a farm located in São Paulo countryside, it was observed that 64% of these plants were infested. From the sample taken monthly from the plants, the month of March and December of 2001 present the biggest percentage of incidence with 12,38% and 23,34%, respectively. And the month of October of 2000 and September of 2001 present the lowest percentage with 1,90% and 4,76%, respectively. Analyzing the adjusted models to the incidence of the vector leafhopper, it is observed that all the models that were studied presented a coefficient of determination above 0,94 corresponding to a great adjustment and low variability of the semivariences. From the maps of kriging it is verified that the months of March/2001, August/2001, October/2001

and December/2001 related to the seasons fall, winter, spring and summer respectively, present the biggest infestations of leafhopper. The procedure of sequential simulation by indication was applied using the set of data in study, a regular schedule formed by 200 lines x 200 columns and the theoretical models of analyzed semivariograms, based on this information were created 100 conditional simulations. To evaluate the methods of estimation used in the data in study, it was used the visualization of geostatistical maps, where it is possible to find the maps estimated by indicative kriging and the average of the 100 conditional simulations, as well as, the average, the deviation and the coefficient of the variation of the values observed and estimated by indicative kriging and conditional simulation. Evaluating the incidence of the larvae of the vector *A. aegypti* in the Trem and Cidade Nova neighborhoods in the dry and rainy season, and the vector leafhopper in the citrus plants in the months that present the biggest index of infestation (March, August, October and December of 2001) it is observed that for both studies, the maps estimated by indicative kriging and the average of the 100 conditional simulations present similar results, but the difference between them is in the region surface, as long as the map estimated by indicative kriging produces the softest space variation of the real values, the map of the average of 100 conditional simulations represents the variability of the data in a better way. From the statistical measures presented it is verified that only the average is not enough to state which is the best applied method to the studies that were realized in this paper because the averages of the estimators are almost the same to the observed values. And, to these studies, it is noticed that the deviation and the coefficient of the variation of the conditional simulation related to the deviation and the coefficient of the variation of the indicative kriging was closer to the deviation and the coefficient of the variation of the observed values. Indicating this way, that the most appropriated method of estimation to the incidence of larvae of the vector *A. aegypti* and the incidence of the vector leafhopper in citrus plants was the method of estimation by sequential simulation conditioned by indication.

Key-Words: *Aedes aegypti*, Leafhopper, Kriging, Conditional Simulation.

SUMÁRIO

Resumo	ix
Abstract	xi
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras	xvi
1 Introdução	1
1.1 Principais Considerações	1
1.2 Justificativa e Importância do Trabalho	3
1.3 A Hipótese Básica do Trabalho	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo Geral	3
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 As Limitações do Trabalho	4
1.6 Estrutura do Trabalho	4
2 Fenômenos Biológicos	6
2.1 <i>Aedes aegypti</i>	6
2.1.1 Classificação	6
2.1.2 Distribuição Geográfica	7
2.1.3 Biologia	8
2.2 Dengue	9
2.2.1 Aspectos Clínicos	10
2.2.2 Transmissão do Vírus da Dengue	10
2.2.3 Dengue no Mundo	11
2.2.4 Dengue no Brasil	11
2.2.5 Dengue no Estado do Amapá	12
2.3 <i>Xylella fastidiosa</i>	12
2.4 Insetos Vetores de <i>Xylella fastidiosa</i>	14
2.4.1 Cigarrinhas	14
2.4.2 Mecanismo de Transmissão de <i>X. fastidiosa</i> por Cigarrinhas	15
3 Materias e Métodos	17
3.1 Vetor <i>Aedes aegypti</i>	17

3.1.1	Área de Estudo	17
3.1.2	Bairro do Trem	18
3.1.3	Bairro Cidade Nova	19
3.2	Método de Amostragem	21
3.2.1	Escolha dos Pontos de Coleta	21
3.2.2	Coleta de Imaturos	21
3.2.3	Obtenção das Amostras e Imagens	23
3.3	Georreferenciamento dos Bairros	23
3.3.1	Digitalização dos Bairros	24
3.4	Vetor Cigarrinha	26
3.4.1	Área de Estudo	26
3.4.2	Método de Amostragem	27
3.4.3	Georreferenciamento dos Talhões	27
3.4.4	Digitalização das Fotos Aéreas	28
3.5	Geoestatística	29
3.5.1	Histórico e Definição	29
3.6	Semivariograma	30
3.6.1	Modelos com Patamar	33
3.6.2	Modelos sem Patamar	36
3.7	Krigagem	36
3.7.1	Krigagem Indicativa	39
3.8	Simulação Condicional	42
3.8.1	Simulação Sequencial Condicionada por Indicação	45
4	Resultados	46
4.1	Vetor <i>Aedes aegypti</i>	46
4.1.1	Análise Exploratória dos Dados do Vetor <i>Aedes aegypti</i>	46
4.1.2	Análise Geoestatística do Vetor <i>Aedes aegypti</i>	48
4.1.3	Krigagem do Vetor <i>Aedes aegypti</i>	50
4.2	Vetor Cigarrinha	52
4.2.1	Análise Exploratória dos Dados do Vetor Cigarrinha	52
4.2.2	Análise Geoestatística do Vetor Cigarrinha	54
4.2.3	Krigagem do Vetor Cigarrinha	57
4.3	Simulação Sequencial por Indicação	61
4.3.1	Avaliação dos Métodos de Estimação	66
5	Considerações Finais e Recomendações	75
5.1	Considerações Finais	75
5.2	Recomendações para Trabalhos Futuros	78
	APÊNDICE	80
	Bibliografia	81

Lista de Tabelas

4.1	Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados no Município de Macapá, para a Verificação da Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> , nos Bairros Trem e Cidade Nova, para os Períodos Seco (Out/2005) e Chuvoso (Fev/2006).	47
4.2	Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados, no Município de Macapá, com Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> , para o Bairro Trem nos Dois Períodos de Coleta, por Tipos de Depósitos.	47
4.3	Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados, no Município de Macapá, com Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> , para o Bairro Cidade Nova nos Dois Períodos de Coleta, por Tipos de Depósitos.	48
4.4	Parâmetros dos Modelos Ajustados nos Semivariogramas, Modelos, R^2 , Índice do Efeito Pepita Relativo (E) e k parâmetro, para a Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> nos Bairros Trem e Cidade Nova, para os Dois Períodos de Coleta.	49
4.5	Quantidade e Percentual de Plantas Cítricas Inspeccionadas na Fazenda Castanharo, para a Verificação da Incidência do Vetor Cigarrinha, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001.	53
4.6	Quantidade e Percentual de Plantas Cítricas Inspeccionadas, para a Verificação da Incidência do Vetor Cigarrinha, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001, por amostragem.	53
4.7	Resultados da Incidência da Cigarrinha a partir dos Modelos Ajustados nos Semivariogramas, das Plantas Cítricas Inspeccionadas na Fazenda Castanharo, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001.	54
4.8	\bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor <i>Aedes aegypti</i> , no Bairro Trem, para os Períodos Seco e Chuvoso.	68
4.9	\bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor <i>Aedes aegypti</i> , no Bairro Cidade Nova, para os Períodos Seco e Chuvoso.	71
4.10	\bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, no período de Março de 2001 a Dezembro de 2001.	74

Lista de Figuras

2.1	Aspecto do <i>Aedes aegypti</i> : ovos (a); larva (b); pupa (c); adulto (d).	7
2.2	Identificação das Cigarrinhas Vetores de <i>X. fastidiosa</i>	15
3.1	Mapa do Estado do Amapá, com Destaque da Cidade de Macapá.	18
3.2	Mapa de Localização do Bairro Trem, Macapá (AP).	19
3.3	Mapa de Localização do Bairro Cidade Nova, Macapá (AP).	20
3.4	Metodologia de Campo Utilizada para Inspeção e Coleta dos Imaturos de <i>A. aegypti</i>	22
3.5	Metodologia de Laboratório Utilizada para Análise dos Espécimes Coletados.	23
3.6	Equipamento Utilizado para o Georreferenciamento dos Imóveis.	24
3.7	Mapa de Localização Espacial dos Imóveis (Latitude e Longitude) do Bairro Cidade Nova, mostrando os 218 pontos (pontos amarelos) de Localização dos Imóveis Inspeccionados, Ano de 2005.	25
3.8	Mapa de Localização Espacial dos Imóveis (Latitude e Longitude) do Bairro Trem, mostrando os 186 pontos (pontos amarelos) de Localização dos Imóveis Inspeccionados, Ano de 2005.	25
3.9	Foto Aérea da Área em Estudo, a Fazenda Castanharo Localizada no Município de Gavião Peixoto - SP, Ano de 2001.	26
3.10	Detalhe Mostrando uma Armadilha Adesiva para Captura de Cigarrinhas na Área em Estudo, a Fazenda Castanharo Localizada no Município de Gavião Peixoto - SP, Ano de 2001.	27
3.11	Sistema de Posicionamento Global Diferencial (<i>DGPS</i>) Geodésico, Utilizado como Base.	28
3.12	Esquema do Semivariograma Experimental (adaptado de Guerra, 1988).	32
3.13	Semivariogramas Com Patamar (adaptado de Rendu, 1978).	34
3.14	Codificação por Indicação dos Dados Amostrais Para o Valor de Corte $Z = Z_K$, adaptado de Felgueiras (1999).	40
4.1	Semivariogramas da Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> no Bairro Trem nos Períodos: A - Período Seco (<i>Out/ 2005</i>) e B - Período Chuvoso (<i>Fev/ 2006</i>).	49
4.2	Semivariogramas da Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes Aegypti</i> no Bairro Cidade Nova nos Períodos: C - Período Seco (<i>Out/ 2005</i>) e D - Período Chuvoso (<i>Fev/ 2006</i>).	50

4.3	Mapas de Krigagem com os Valores Observados de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> para o Bairro Trem, nos Períodos: A - Seco (<i>Out/2005</i>) e B - Chuvoso (<i>Fev/2006</i>).	51
4.4	Mapas de Krigagem com os Valores Observados de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> para o Bairro Cidade Nova, nos Períodos: A - Seco (<i>Out/2005</i>) e B - Chuvoso (<i>Fev/2006</i>).	52
4.5	Semivariogramas da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, nos Períodos de : A - <i>Out/2000</i> ; B - <i>Nov/2000</i> ; C - <i>Jan/2001</i> ; D - <i>Fev/2001</i> ; E - <i>Mar/2001</i> ; F - <i>Mai/2001</i> e G - <i>Ago/2001</i>	56
4.6	Semivariogramas da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de : H - <i>Set/2001</i> ; I - <i>Out/2001</i> ; J - <i>Nov/2001</i> e K - <i>Dez/2001</i>	57
4.7	Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de: A - <i>Out/2000</i> ; B - <i>Nov/2000</i> ; C - <i>Jan/2001</i> e D - <i>Fev/2001</i>	58
4.8	Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de : E - <i>Mar/2001</i> ; F - <i>Mai/2001</i> ; G- <i>Ago/2001</i> e H - <i>Set/2001</i>	59
4.9	Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de: I - <i>Out/2001</i> ; J - <i>Nov/2001</i> e K - <i>Dez/2001</i>	60
4.10	Mapas de 20 realizações da Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> para o Bairro Trem, nos Períodos: A - Seco (<i>Out/2005</i>) e B - Chuvoso (<i>Fev/2006</i>), escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais. . .	62
4.11	Mapas de 20 realizações da Incidência de Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> para o Bairro Cidade Nova, nos Períodos: A - Seco (<i>Out/2005</i>) e B - Chuvoso (<i>Fev/2006</i>), escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais. . .	63
4.12	Mapas de 20 realizações da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, nos Períodos : A - <i>Mar/2001</i> ; B - <i>Ago/2001</i> ; C - <i>Out/2001</i> ; e D - <i>Dez/2001</i> , escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais. . . .	65
4.13	Mapas da Variável Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), no Bairro Trem para os Períodos Seco e Chuvoso.	67
4.14	Mapas da Variável Larvas do Vetor <i>Aedes aegypti</i> Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), no Bairro Cidade Nova para os Períodos Seco e Chuvoso.	70
4.15	Mapas da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), para os Períodos de Março de 2001 a Dezembro de 2001.	73
1	Moldes Estabelecidos para o Levantamento de Índice Rápido para <i>A. aegypti</i> , Preconizado pelo <i>PNCD/MS</i>	80

Capítulo 1

Introdução

1.1 Principais Considerações

O constante avanço do conhecimento em diversas áreas do conhecimento como por exemplo, saúde, ambiente, geologia, agronomia, entre outras tem evidenciado as limitações dos métodos tradicionais da estatística, no tratamento da variabilidade espacial. As técnicas da estatística clássica assumem que todas as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples, esta suposição é chamada estacionaridade*, sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das amostras ou do relacionamento entre amostras. Já a geoestatística assume que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para toda a área, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos (Clark, 1979).

Atualmente, o termo geoestatística acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas. Apresentam uma aparente continuidade no espaço, sendo representadas por funções numéricas ordinárias que assumem um valor definido a cada ponto no espaço e matematicamente descrevem um fenômeno natural. A continuidade geográfica atribuída se manifesta pela propriedade que a variável tem de apresentar valores muito próximos em dois pontos vizinhos e progressivamente mais diferentes à medida que os pontos vão ficando mais distantes (Landim, 1998). Além dessa propriedade, a variável regionalizada pode apresentar os seguintes atributos: localização, anisotropia e transição. Ainda que a variável regionalizada seja contínua no espaço, geralmente, não é possível conhecer seus valores em todos os pontos, mas sim

* na região em que se pretende fazer estimativas, o fenômeno é descrito como homogêneo dentro desse espaço (Landim *et al*, 2002)

apenas em alguns que foram obtidos por amostragem. O tamanho, a forma, a orientação e o arranjo espacial dessas amostras constituem o suporte da variável regionalizada, que apresentará características diferentes se qualquer desses atributos for modificado.

A geoestatística se preocupa, portanto, com a estimativa da variação regionalizada em uma, duas ou três dimensões, e mesmo no tempo, e para se obterem resultados práticos é preciso que se conheça, pelo menos parcialmente, a função densidade de probabilidade que governa a ocorrência da variável regionalizada. Como na estatística convencional, esse conhecimento pode se basear tanto em um modelo teórico como numa análise empírica utilizando-se uma amostra bastante grande. A complexidade das variáveis regionalizadas exclui a formulação de um modelo teórico, deixando como única solução a determinação empírica ou relativa das probabilidades presentes. Como uma variável regionalizada é o resultado único de uma função aleatória, é possível fazer inferências estatísticas baseando-se em apenas uma amostra; para resolver esse impasse, a geoestatística utiliza uma restrição estacionária chamada de *hipótese intrínseca*[†] e permite o uso de resultados de uma variável regionalizada por estimativas pelo método dos momentos. Em termos simples, a propriedade ocorre quando a média e a covariância, estimadas a partir de um conjunto restrito de valores, fornecem estimativas não-tendenciosas para o conjunto de total de valores.

Assim, geoestatística é justamente um nome associado com uma classe de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo. Tais valores são implicitamente assumidos como correlacionados com outros, e o estudo de tal correlação é denominado de análise estrutural ou modelagem do semivariograma. Depois da análise estrutural, inferências em localizações não amostradas são realizadas usando krigagem ou podem ser simuladas usando Simulações Condicionais. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas incluem: *a*) análise exploratória dos dados, *b*) análise estrutural (cálculo e modelagem do semivariograma) e *c*) realização de inferências (krigagem ou simulação condicional).

Portanto, a incorporação de procedimentos geoestatísticos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), baseados em técnicas de krigagem e/ou simulação condicional, são im-

[†] as diferenças entre valores apresentam fraco incremento, isto é, as diferenças são localmente estacionárias.

portantes, porque essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade dos estimadores e, principalmente, pela acurácia nas análises dos dados. Nesse contexto, este trabalho se propõe a apresentar um estudo para avaliar a distribuição espacial de dados biológicos a partir das técnicas krigagem e simulação condicional.

1.2 Justificativa e Importância do Trabalho

Este trabalho pretende fazer uma avaliação da distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional. Mas, especificadamente essa avaliação dá-se-a na distribuição espacial do vetor *Aedes aegypti* para entender e mostrar o comportamento reprodutivo deste vetor e relacioná-los aos diferentes aspectos socioeconômicos, ambientais e climáticos onde este mosquito encontra-se incriminado na transmissão da dengue. E também, avaliar a distribuição espacial do agente causador da bactéria *Xylylla fastidiosa*, cigarrinha, para estabelecer novas técnicas de manejo ou melhorar as técnicas atualmente em uso para o controle de doenças causadas por esta bactéria. Assim, este trabalho se justifica por mostrar a comparação entre duas poderosas técnicas da geoestatística relacionadas a dados biológicos. Além disso, a partir deste estudo outras possibilidades de análise para dados biológicos foram pensadas, como por exemplo, a co-krigagem. Finalmente, os resultados obtidos podem auxiliar pesquisadores, órgãos governamentais e investidores no combate às doenças estudadas neste trabalho.

1.3 A Hipótese Básica do Trabalho

Parte-se da hipótese de que para a avaliação da distribuição espacial de dados biológicos, mas especificadamente dos vetores *A. aegypti* e Cigarrinha, que os métodos de krigagem e simulação condicional apresentem diferenças.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação podem ser resumidos como segue:

- Apresentar a metodologia para obtenção das técnicas krigagem e simulação condicional;
- Apresentar a distribuição espacial dos criadouros de *Aedes. aegypti* em pontos georreferenciados de dois bairros da cidade de Macapá-AP.
- Observar a distribuição espacial dos principais insetos vetores (Cigarrinhas) da *Xylella fastidiosa*.
- Aplicar krigagem e simulação condicional à distribuição espacial de dados biológicos.
- Avaliar a distribuição espacial de dados biológicos a partir das técnicas krigagem e simulação condicional.

1.5 As Limitações do Trabalho

Como principais limitações deste trabalho têm-se a necessidade de um maior detalhamento relativo ao estudo da densidade espacial dos vetores estudados, da produtividade dos criadouros naturais e artificiais que favorecem a proliferação do *A. aegypti*, a influência na densidade dos vetores estudados e do raio de dispersão dos mesmos, poucas referências bibliográficas atuais e a escassez de *softwares* livres para a aplicação de técnicas da geoestatística.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este estudo está dividido em 5 capítulos, a saber:

- No Capítulo 1, são apresentadas as principais considerações sobre o trabalho, além da justificativa e importância, hipótese, objetivos e suas limitações;
- No Capítulo 2, é abordado sobre os fenômenos biológicos, como casos referentes a epidemiologia de doenças. Em específico, este capítulo abordará sobre a incidência

do vetor *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti*, sobre a Dengue, a bactéria *Xylella fastidiosa* e seu vetor Cigarrinha;

- O Capítulo 3, aborda sobre as áreas e amostragem dos dados biológicos em estudo, bem como uma visão geral sobre a geoestatística e as técnicas krigagem e simulação condicional;
- O Capítulo 4, apresenta a aplicabilidade e os resultados obtidos a partir das técnicas krigagem e simulação condicional;
- O Capítulo 5, apresenta as considerações finais, bem como recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

Capítulo 2

Fenômenos Biológicos

Neste capítulo são apresentados alguns fenômenos biológicos, como casos referentes a epidemiologia de doenças. Inicialmente, será abordado sobre a incidência do vetor *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti*, causador de doenças em seres humanos como a Dengue, e em seguida será abordado sobre a infestação de doenças da *Xilella fastidiosa*, causada pelo vetor *Cigarrinhas* em plantas cultivadas.

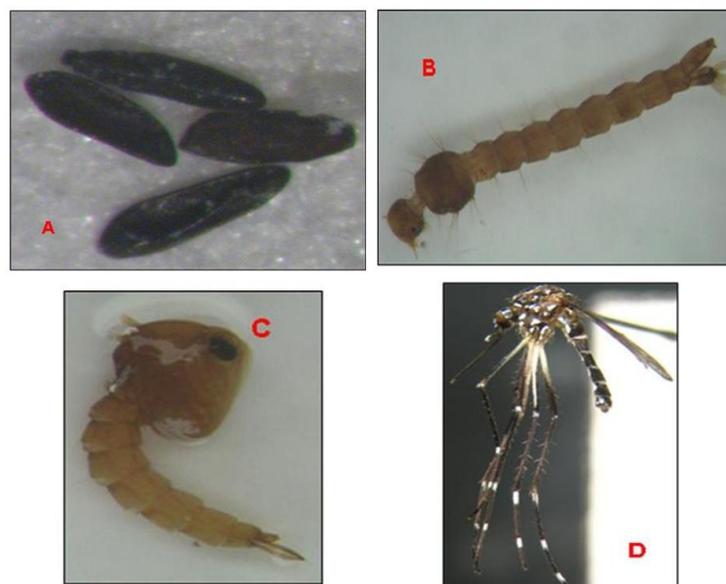
2.1 *Aedes aegypti*

2.1.1 Classificação

O Filo *Artropoda* compreende mais de 90% das espécies de animais conhecidas no planeta e a classe *Insecta* engloba aproximadamente um milhão de espécies conhecidas de insetos (Borror e DeLong, 1969). Estas espécies distribuem-se em algumas famílias sendo que na família *Culicidae* estão os mosquitos, conhecidos vulgarmente como: muriçocas, pernilongos ou carapanãs. São insetos de grande importância epidemiológica, uma vez que estão envolvidos na transmissão de parasitoses como: malária, filariose e diversas arboviroses como febre amarela e dengue, (Rocha e Mascarenhas, 1994; Rocha, 1996). A família *Culicidae* é composta por 3 subfamílias: *Culicinae*, *Anophelinae* e *Toxorhynchitinae*. A subfamília *Culicinae* agrupa cerca de 3.000 espécies e compreende 38 gêneros distribuídos em 11 tribos: *Aedeomyiini*, *Aedini*, *Culicini*, *Culisetini*, *Ficalbiini*, *Hodgesiini*, *Mansoniini*, *Orthopodomyiini*, *Orthopodomyiini*, *Sabethini*, *Uranotaeniini*. A tribo *Aedini* é composta por 12 gêneros, onde segundo Forattini (2002), o gênero *Aedes* é um gênero muito grande, agrupando mais de 900 espécies distribuídas em 44 subgêneros. Para a região Neotropical são descritos apenas 09 subgêneros, onde as espécies de *Aedes* de importância epidemiológica estão agrupadas nos subgêneros *Ochlerotatus* e *Stegomyia* (Consoli e Oliveira, 1994).

O *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti*, objeto deste estudo (Figura 2.1), é uma das mais estu-

dadas no mundo por ser a principal espécie transmissora da dengue e febre amarela além de está incriminada na vetorização de várias outras arboviroses (Rocha e Mascarenhas, 1994; Rocha, 1996).



Fonte: Laboratório de Entomologia do Instituto Evandro Chagas, 2007.

Figura 2.1 Aspecto do *Aedes aegypti* : ovos (a); larva (b); pupa (c); adulto (d).

2.1.2 Distribuição Geográfica

Os 44 subgêneros do Gênero *Aedes* apresentam distribuição mundial, sendo que a maioria das espécies pertence às Regiões Oriental, Australásia e Oceania. Porém, devido ao desenvolvimento dos meios de transportes, duas espécies foram introduzidas na Região Neotropical: *Aedes aegypti* e *A. Albopictus*. O *A. aegypti* é considerado um mosquito cosmopolita, apresenta vasta distribuição geográfica, distribuí-se entre os paralelos de 45° de latitude norte e 40° latitude sul. Tal distribuição está relacionada com a atividade humana e a outros fatores como topografia regional, umidade, temperatura e altitude (Gadelha e Toda, 1985; Consoli e Oliveira, 1994; Forattini, 2002). Para Consoli e Oliveira (1994) e Sellera (1999), esta espécie foi introduzida no Brasil durante o período colonial devido o tráfego de escravos. Depois de ser intensamente combatida por ser vetor da febre

amarela, foi erradicada em 1955; no entanto foi re-introduzida, no final da década de 60, devido aos países vizinho não a terem erradicado também foi introduzido novamente em Belém do Pará em 1967, no Estado do Rio de Janeiro provavelmente em 1977 e Roraima no início dos anos 80.

2.1.3 Biologia

Por sua estreita associação com o homem, o *Aedes aegypti* é, essencialmente, mosquito urbano, encontrado em maior abundância em cidades, vilas e povoados, entretanto já foi encontrado em zonas rurais, provavelmente transportados de áreas urbanas em vasos domésticos, onde se encontravam ovos e larvas. Os ovos são depositados pela fêmea, nas paredes internas dos depósitos que servem como criadouros, próximos à superfície da água, sendo no momento da postura brancos, mas rapidamente, adquirem a cor negra brilhante. A fecundação se dá durante a postura e o desenvolvimento do embrião se completa em 48h, em condições favoráveis de umidade e temperatura. Uma vez completado o desenvolvimento embrionário, os ovos são capazes de resistir a longos períodos de dessecação, que pode prolongar-se por mais de um ano, sendo observado a eclosão de ovos com até 450 dias, quando colocados em contato com a água.

A capacidade de resistência dos ovos do *Aedes aegypti* à dessecação é um sério obstáculo para sua erradicação, pois esta condição permite que os ovos sejam transportados a grandes distâncias, em recipientes secos, tornando-se, assim, o principal meio de dispersão do inseto. As larvas possuem quatro estágios evolutivos, sendo que a duração da fase larvária depende da temperatura, disponibilidade de alimento e densidade das larvas nos criadouros. Em condições ótimas, o período entre a eclosão e a pupação pode não exceder a cinco dias, contudo, em baixa temperatura e escassez de alimento, o quarto estágio larvário pode prolongar-se por várias semanas, antes da sua transformação em pupa. A fase larvária é mais vulnerável do ciclo, por isso as ações de combate devem, preferencialmente, atuar na fase larvária.

As pupas não se alimentam, sendo nesta fase que ocorre a metamorfose do estágio larval para o adulto. Quando inativas se mantêm na superfície da água, flutuando, o que facilita a emergência do inseto adulto, sendo que o estado pupal dura, geralmente, de dois a três dias. Logo após emergir do estágio pupal, o inseto adulto procura pousar sobre as paredes do

recipiente, assim permanecendo várias horas para endurecimento do exoesqueleto e asas. Dentro de 24 horas após, emergirem, pode acasalar, sendo o acasalamento geralmente durante o vôo e uma única inseminação é suficiente para fecundar todos os ovos que a fêmea venha a produzir durante a sua vida.

As fêmeas se alimentam de sangue, servindo como fonte de repasto a maior parte do vertebrados, mas mostram marcada predileção pelos humanos, ocorrendo sempre durante o dia, nas primeiras horas da manhã e ao anoitecer. O macho alimenta-se de carboidratos extraídos dos vegetais. Em geral, a fêmea faz uma postura após cada repasto sanguíneo, sendo o intervalo entre a alimentação sanguínea e a postura é, em regra, de três dias, em condições de temperatura satisfatórias. A oviposição se dá mais frequente no final da tarde, onde a fêmea é atraída por recipientes escuros e sombreados, com superfície áspera, nas quais deposita os ovos, prefere água limpa e cristalina ao invés de água suja ou poluída por matéria orgânica. A fêmea distribui cada postura em vários recipientes.

É pequena a capacidade de dispersão do *Aedes aegypti* pelo vôo, sendo que a fêmea passa toda sua vida nas proximidades do local onde eclodiu, desde que haja hospedeiros, poucas vezes a dispersão pelo vôo excede a cem metros, entretanto, uma fêmea grávida pode voar até três quilômetros em busca de local adequado para oviposição, quando não há recipientes apropriados nas proximidades. A dispersão do *Aedes aegypti* a grandes distâncias se dá, geralmente com resultado do transporte de ovos e larvas em recipientes. O *Aedes aegypti* quando em repouso é encontrado nas habitações, nos quartos de dormir, nos banheiros e na cozinha e, só ocasionalmente no peridomicílio, sendo as superfícies preferidas para o repouso, as paredes, mobílias, peças de roupa penduradas e mosquiteiros. Quando o *A. aegypti* está infectado pelo vírus do dengue, pode haver transmissão transovariana destes, de maneira que, em variável percentual, as fêmeas filhas de um espécime portador já nascem infectadas.

2.2 Dengue

A dengue é uma arbovirose (*arthropod-borne* vírus), cujo agente etiológico é representado por um complexo de quatro sorotipos de vírus da família *Flaviviridae*, gênero *Flavivirus*, composta por aproximadamente 70 espécies, dos quais cerca de 30 são patogênicas,

todos causando a mesma síndrome clínica: Dengue-1 (DEN-1), Dengue-2 (DEN-2), Dengue-3 (DEN-3) e Dengue-4 (DEN-4) - (Pontes e Netto 1994; Nogueira *et al*, 2001). Podem ser transmitidos principalmente por duas espécies de mosquito: o *A. aegypti* e o *A. albopictus* (Gubler, 1998b).

2.2.1 Aspectos Clínicos

O processo infeccioso desencadeado pelo vírus da dengue possui um amplo quadro clínico, podendo variar desde uma simples infecção inaparente (assintomática) até quadros mais graves, nos quais se verificam hemorragias, abrupto aumento da permeabilidade vascular e desenvolvimento de choque hipovolêmico (Gubler, 1998a). A Dengue clássica tem como característica um quadro febril, geralmente súbito, que pode alcançar $40^{\circ}C$ e se estende por 3 a 5 dias. Os sintomas associados são cefaléias, prostração, mialgia, artralgia, dor retroorbitária, exantema maculopapular acompanhado ou não de prurido. Além destes sintomas, anorexia, náuseas, vômitos e diarreia podem ser observados (Brasil, 2002). A Dengue hemorrágica apesar de sua denominação, não apresenta como características preponderantes as hemorragias. É relevante observar que, a presença de manifestações hemorrágicas não é exclusiva da Febre Hemorrágica da Dengue (FHD), e quadros como plaquetopenia ($<1000.000/MM^3$) podem ser observados, com ou sem essas manifestações. Portanto, é importante diferenciar os casos de Dengue clássica com manifestações hemorrágicas e/ou plaquetopenia dos casos de FHD (Brasil, 2002).

2.2.2 Transmissão do Vírus da Dengue

A transmissão da doença ocorre pela picada das fêmeas dos mosquitos *A. aegypti* no ciclo ser humano. Após um repasto de sangue infectado, o mosquito está apto a transmitir o vírus depois de 8 a 12 dias de incubação extrínseca. A fase de transmissão da doença compreende dois ciclos: um intrínseco que ocorre no ser humano e outro extrínseco, que ocorre no mosquito. A transmissão do ser humano para o mosquito ocorre enquanto houver presença de vírus no sangue do ser humano (período de viremia). Este período começa um dia antes do aparecimento da febre e vai até o 6º dia da doença. No mosquito, após um repasto de sangue infectado, o vírus vai se localizar nas glândulas salivares da fêmea do mosquito, onde se multiplica depois de 8 a 12 dias de incubação. A partir deste momento,

é capaz de transmitir a doença e assim, permanecem 6 a 8 semanas, até o final de sua vida. A transmissão mecânica também é possível quando o repasto é interrompido e o mosquito, imediatamente, se alimenta num hospedeiro susceptível próximo (Brasil, 2002).

De acordo com Natal (2002), devido o *A. aegypti*, manter um estreito relacionamento com o homem, quanto mais intensa a proliferação do mosquito e maior a densidade populacional humana, maiores serão as chances de contato. Não há transmissão por contato direto de um doente ou de suas secreções com pessoa sadia, nem por intermédio de água ou alimento. O período de incubação do vírus varia de 3 a 15 dias, sendo em média de 5 a 6 dias (Kuno 1995; Santos, 2003).

2.2.3 Dengue no Mundo

A distribuição global da Dengue afeta aproximadamente uma população de 2,5 bilhões de pessoas que moram em áreas de risco, atingindo de 50 a 100 milhões de pessoas anualmente, incluindo 250 a 500 mil casos de Febre Hemorrágica da Dengue (FHD), provocando cerca de 20 mil óbitos, sendo a taxa de casos fatais na maioria dos países de 5% (Donalisio, 2002; Souza, 2007). Uma série histórica de 1980 a 1997, mostra a evolução do Dengue nas Américas, a exemplo da grande epidemia de Cuba em 1981 e o registro de um aumento considerável no número de casos a partir de 1994, com destaque para 1997, com mais de 350 mil casos de Dengue (Loiola, 1998). Segundo dados estatísticos publicados em 2005 pela Organização Pan-americana de Saúde (OPS) o número de casos nas Américas passou de aproximadamente 66 mil em 1980, para mais de um milhão, em 2002. Em 2003, foram notificados aproximadamente 480 mil casos de Dengue, com cerca de 10 mil do tipo hemorrágico, e no ano seguinte mais de 418 mil casos. Atualmente, os quatro sorotipos estão circulando nas Américas e, desde o informe de Dengue hemorrágica em 1981, outros 24 países das Américas notificaram casos de FHD (Brasil, 2008). Para Schatzmayr (2007), o Brasil contribuiu nas duas últimas décadas com mais de 80% dos casos de Dengue nas Américas a cada ano.

2.2.4 Dengue no Brasil

No Brasil, há relatos de epidemias desde 1916, no entanto a primeira epidemia, documentada clínica e laboratorialmente ocorreu em 1982, em Boa Vista (Roraima), causada

pela circulação dos sorotipos 1 (DEN- 1) e 4 (DEN-4) considerado o mais perigoso (Osana *et al.*, 1983). A Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS) registrou até a semana epidemiológica nº 52/2006 (janeiro a dezembro), 345.922 casos de Dengue, dos quais 263.984 (76%) ocorreram entre os meses de janeiro a maio. O que confirma a manutenção do padrão de sazonalidade da Dengue no Brasil, que acompanha a estação chuvosa. Em 2006, foram confirmados 628 casos de FHD e a ocorrência de 67 óbitos (Brasil, 2008). Na análise dos dados compreendidos no período de janeiro a julho de 2007 realizado pela SVS/MS, foram registrados 438.949 casos de dengue clássica, 926 casos de FHD e a ocorrência de 98 óbitos (Brasil, 2008).

2.2.5 Dengue no Estado do Amapá

Especificamente no município de Macapá os primeiros casos de Dengue registrados após confirmação laboratorial, foram casos importados em sua maioria do estado do Pará. Quadro este estabelecido até março de 2001, quando surge o primeiro caso autóctone de Dengue no município e conseqüentemente, no estado. Neste mesmo ano foram notificados 3.713 casos suspeitos, destes, 2.828 confirmados laboratorialmente e o isolamento viral, identificando a circulação do sorotipo 1 (DEN-1). Estima-se que aproximadamente 26.500 pessoas tenham sido acometidas pelo agravo sem terem sido registrados em virtude da sub-notificação (DIVEP/DVS/SEMSA, 2007). Nos anos de 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006, foram notificados respectivamente 1.228; 5.402; 2.995; 2.833; 1.509 casos de Dengue. No ano de 2007, até o mês de setembro, os casos notificados chegam a 2.183. Neste contexto, verifica-se que atualmente, circulam no município de Macapá além do sorotipo 1 (DEN-1), o sorotipo 2 (DEN-2), introduzido em 2002, e o sorotipo 3 (DEN-3), introduzido em 2003. Tal fato, não obstante do que ocorre no mundo, vem contribuindo para o aumento do risco de epidemia por FHD/SCD, bem como para a ocorrência de casos graves e com complicações, como a exemplo de 02 casos com complicações neurológicas ocorridas no primeiro trimestre de 2005, e o registro de 5 óbitos em 2007 (DIVEP/DVS/SEMSA, 2007).

2.3 *Xyلةla fastidiosa*

A bactéria *Xyلةla fastidiosa* possui ampla gama de hospedeiros que inclui espécies de pelo menos 28 famílias de plantas mono e dicotiledôneas. Apesar de muitas plantas

hospedeiras não apresentarem sintomas quando infetadas por *X. fastidiosa*, elas podem servir como hospedeiros alternativos para a bactéria, constituindo em fontes de inóculo para a ocorrência de doenças em plantas cultivadas (Hopkins, 1989; Leite *et al.*, 1997). Essa bactéria ocorre limitada aos vasos do xilema (sistema de vasos responsáveis pela distribuição de águas e nutrientes) e o mecanismo de patogenicidade da bactéria sugere que os sintomas produzidos por estresse hídrico sejam causados devido à oclusão de vasos do xilema por agregados da bactéria, gomas e tiloses, podendo também estar associada à presença de fitotoxinas e desbalanço hormonal (Hopkins, 1989; Purcell e Hopkins, 1996).

Além da presença de goma no xilema, também têm sido observadas divisões celulares anormais no xilema, floema e córtex do caule, bem como no mesófilo e no córtex da região da nervura foliar (Queiroz-Voltan *et al.*, 1998). Além disso, esta bactéria causa doenças de importância econômica em diversas plantas cultivadas como alfafa (*Medicago sativa* L.), ameixeira (*Prunus salicina* Lindl), citros (*Citrus* spp.), pessegueiro (*Prunus persicae* (L.) Batsch) e videira (*Vitis vinifera* L.) (Hopkins, 1989; Purcell e Hopkins, 1996). A ocorrência de doenças causadas por *X. fastidiosa* já foi reportada nas Américas do Norte, Central e do Sul (Hopkins, 1989; Leite *et al.*, 2002). Na América do Sul, *X. fastidiosa* tem sido relatada causando a escaldadura da folha em ameixeira e a clorose variegada em citros na Argentina, Brasil e Paraguai (Leite *et al.*, 2002). Sendo que no Brasil, essa bactéria tem sido encontrada em várias plantas, porém as culturas de importância econômica mais afetadas são ameixeira, cafeeiro e citrus. Destas, apenas em citrus tem-se uma estimativa dos prejuízos causados pela bactéria. No estado de São Paulo, onde a citricultura é constituída por mais de 60 milhões de árvores, o prejuízo pode chegar a mais de um milhão de dólares, sendo que, aproximadamente 30% das plantas apresentam a bactéria. A *X. fastidiosa* é transmitida por cigarrinhas das famílias *Cicadellidae* (subfamília *Cicadellinae*) e *Cercopidae*, que se alimentam dos ramos e folhas, preferencialmente nos tecidos do xilema (Hopkins, 1989; Lopes, 1996; Paiva *et al.*, 1996).

2.4 Insetos Vetores de *Xylella fastidiosa*

2.4.1 Cigarrinhas

Os insetos relatados como vetores da *Xylella fastidiosa*, nas diversas culturas hospedeiras são as *Cigarrinhas*, pertencentes a ordem *Hemiptera*, sub-ordem *Auchenorrhyncha* e famílias *Cicadellidae* (subfamília *Cicadellinae*). Entre as famílias de *Auchenorrhyncha* que ocorrem em citros, *Cicadellidae* é a mais numerosa, com 11 subfamílias e mais de 55 espécies (Yamamoto e Gravena, 2000). Todos os membros da subfamília *Cicadellinae* tem sua alimentação localizada no xilema das plantas, fato este que está relacionado a capacidade de transmissão de doenças pelas cigarrinhas dessa subfamília. Estas cigarrinhas apresentam a musculatura da cabeça bastante desenvolvida para sucção da seiva, que circula sob pressão negativa na planta (Young, 1968; Nielson, 1985) e são dotadas de fronte bem desenvolvida, seguida ventralmente por um aparelho bucal com múltiplos músculos, necessários para retirar a seiva do xilema.

Em plantas como persegueiro e videira, a *X. fastidiosa* é transmitida principalmente pelas cigarrinhas da família *Cicadellinae*, que se alimentam nos vasos do xilema das plantas, entre as quais se destacam *Draeculacephala minerva*, *Corneocephala fugida*, *Graphocephala antropunctata* e *Oncometopia nigricans* (Raju e Wells, 1986). A transmissão da *X. fastidiosa* por vetores, em citrus, foi demonstrada inicialmente para as cigarrinhas *Dilobopterus costalima*; *Acrogonia sp*; *Oncometopia facialis*. E recentemente, outras oito espécies de cigarrinhas foram comprovadas como sendo transmissoras em citrus: *Pleisomata corniculata*, *Bucephalogonia xanthophis*, *Sonesimia grossa*, *Homalodisca ignorata*, *Ferrariana trivittata*, *Macugonalia leucomelas*, *Parathona gratiosa* e *Acrogonia virescens* (Krügnier et al., 1998; Fundecitrus, 1999). Os vetores mais frequentes em pomares são *O. facialis*, *D. costalima* e *Acrogonia sp*, e em viveiros a *B. xanthophis* (Fundecitrus 2000; Roberto et al., 1996). Assim como a frequência, o hábito alimentar também varia entre as espécies. Segundo Paiva et al. (1996), *Acrogonia sp* alimenta-se geralmente sobre as folhas novas, e *D. costalima* prefere ramos jovens e a *Oncometopia facialis* prefere ramos maduros de citrus. Para uma melhor identificação das cigarrinhas no campo, observa-se a Figura 2.2 que apresenta algumas espécies de cigarrinhas vetores de *X. fastidiosa*.

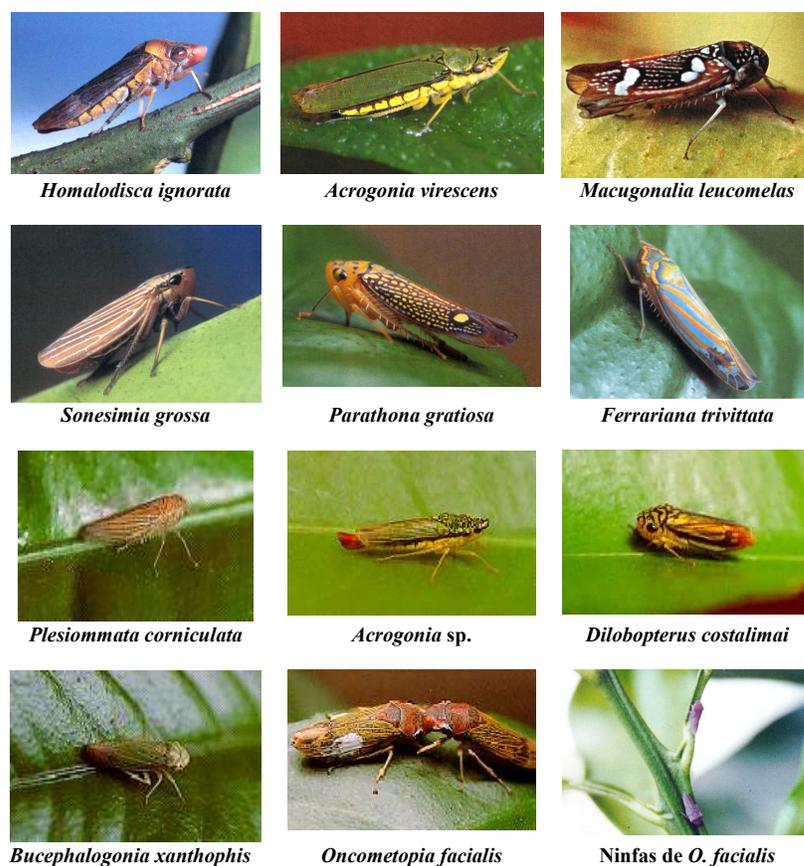


Figura 2.2 Identificação das Cigarrinhas Vetores de *X. fastidiosa*

2.4.2 Mecanismo de Transmissão de *X. fastidiosa* por Cigarrinhas

Segundo Purcell (1989), a bactéria *X. fastidiosa* é transmitida de modo propagativo e não circulativo pelas cigarrinhas. Após aquisição das bactérias, as cigarrinhas adultas podem transmitir *X. fastidiosa* indefinidamente, devido à capacidade da bactéria multiplicar-se no vetor. Purcell e Finlay (1979) observaram que ninfas de *G. antropunctata* perdem a habilidade em transmitir *X. fastidiosa* após a ecdise*. Isso ocorre pois o forro cuticular do estomodéu† é perdido durante o processo de muda. Assim o inóculo da bactéria provavelmente se restringe à parte anterior do aparelho digestivo (estomodéu) e as peças bucais.

* consiste na fase final da muda, quando o esqueleto velho é eliminado.

† compõe a estrutura geral do aparelho digestivo e é formado por faringe, esôfago, papo ou inglúvio, proventrículo ou moela e válvula cardíaca.

Outra evidência que sustenta esta hipótese é o curto intervalo observado entre a aquisição e inoculação de *X. fastidiosa*.

A frequência com que as cigarrinhas visitam as plantas cultivadas de interesse e o tempo de alimentação do inseto nessas plantas, são fatores diretamente relacionados com a eficiência do vetor. Outro fator importante é a afinidade da espécie vetora com a planta hospedeira. Sendo assim, a cigarrinha *G. antropiculata* que tem preferência por plantas perenes e arbóreas, transmitem a estirpe de *X. fastidiosa* de PD (doença de Pierce) para a videira com maior eficiência do que para hospedeiros herbáceos, como a alfafa (Purcell, 1979). Já as cigarrinhas vetoras de *X. fastidiosa* em citrus, apresentam baixa eficiência quando comparadas aos vetores da estirpe de videira, fato este que pode está relacionado com uma baixa eficiência de aquisição ou inoculação da bactéria pelos vetores.

Existe algumas hipóteses que tentam explicar o mecanismo de inoculação de *X. fastidiosa* por cigarrinhas, porém esse mecanismo ainda não foi completamente desvendado. Uma hipótese é que a tensão negativa no xilema seria capaz de deslocar células da bactéria presente no canal alimentar do vetor em direção a planta. Este refluxo poderia ocorrer devido um assincronismo entre a abertura da válvula pré-cibarial e a dilatação da câmara de sucção para a planta. Uma outra hipótese é que a inoculação da bactéria poderia ocorrer durante a seleção da planta hospedeira. Nesta seleção do hospedeiro a cigarrinha faz provas do tecido, onde é retirada pequena quantidade de seiva para a avaliação a partir de sensilos gustativos localizados no interior do estomodéu. Caso a seiva amostrada não induza fagoestimulação no inseto, ela seria regurgitada de volta para a planta e juntamente iriam células de *X. fastidiosa* aderida ao forro cuticular do canal alimentar (Purcell, 1989; Lopes, 1996).

Este capítulo abordou a classificação, distribuição geográfica, biologia e o comportamento reprodutivo do *A. aegypti* para relacioná-lo aos diferentes aspectos socioeconômicos, ambientais e climáticos onde este mosquito encontra-se incriminado na transmissão do vírus da dengue. Além, de apresentar uma abordagem sobre doenças causadas pela bactéria *Xylella fastidiosa*, sobre os insetos vetores e o mecanismo de transmissão dessa bactéria por Cigarrinhas, para averiguar as perdas econômicas causadas com a infestação dessa doença em plantas perenes, arbóreas, videiras, alfafas, cafeeiro, citrus, entre outras.

Capítulo 3

Materias e Métodos

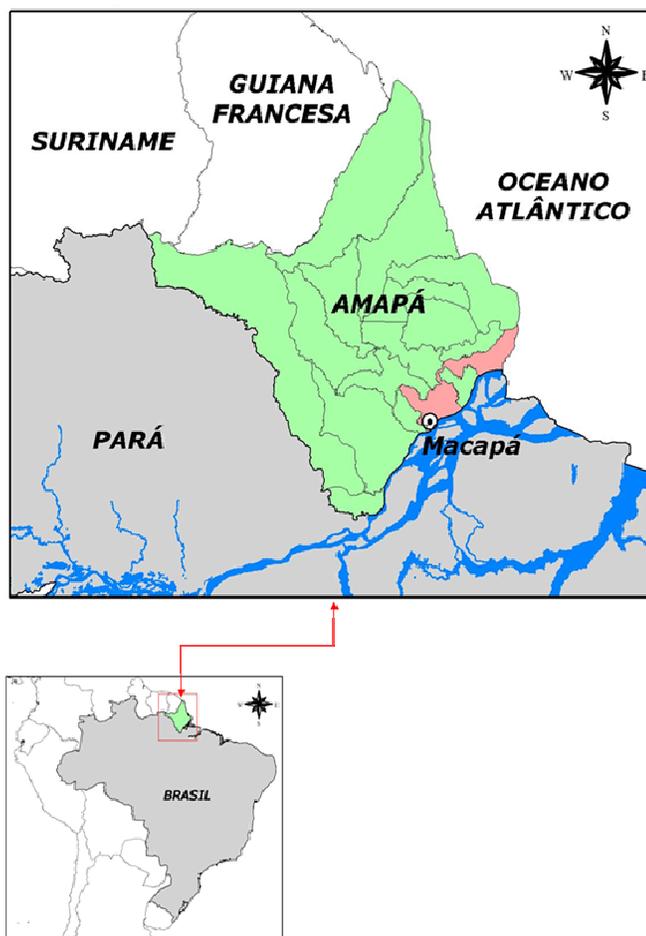
Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos do estudo, onde inicialmente será abordada a área de estudo, os métodos de amostragem e georreferenciamento para o vetor *Aedes Aegypti* transmissor da dengue e em seguida aborda-se a área de estudo, os métodos de amostragem e georreferenciamento do vetor Cigarrinhas, transmissor da bactéria *Xylella fastidiosa*. Finalmente, são abordadas sobre as técnicas estatísticas análise descritiva e geoestatística, necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

3.1 Vetor *Aedes aegypti*

3.1.1 Área de Estudo

A área de estudo refere-se a dois bairros da cidade de Macapá-AP (Figura 3.1), estes bairros são Trem e Cidade Nova. Capital do Estado do Amapá, Macapá representa o município de maior contingente populacional deste estado, sendo a única capital brasileira banhada pelas águas do rio Amazonas. Localiza-se na Região Sudeste do Estado do Amapá, estendendo-se da margem esquerda do Rio Amazonas (entre os rios Pedreira, Matapi e Litoral Atlântico), até a nascente do Rio Maruanum. É cortada pela linha do Equador e sua altitude é de aproximadamente 16 *M* acima do nível do mar. Ocupa uma área de 27.795 *KM*², e limita-se com os municípios de Santana, Itaubal, Porto Grande, Ferreira Gomes, Cutias e Amapá (Morais, 2005 e Morais, 2005). De acordo com estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2006 o município de Macapá contava com uma população de 368.367 habitantes. Este contingente populacional apresenta uma ocupação não homogênea do espaço físico, onde são identificados recortes com deficiência de infra-estrutura, tais como as habitações precárias; adensamento populacional; limitações no saneamento básico, sobretudo, quanto à distribuição

de água encanada e às redes coletoras de esgotamento sanitário; sistemas insuficientes de informação e de educação da população (IBGE, 2000).



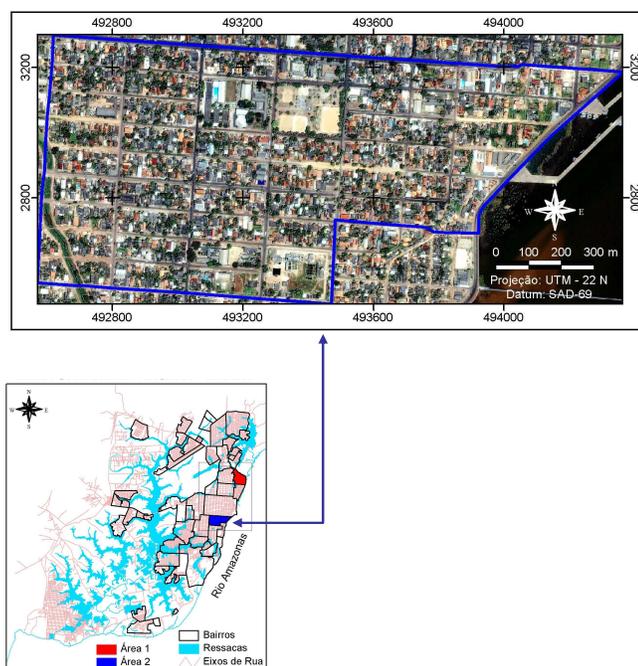
Fonte: Unidade de Análises Estatísticas do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2007.

Figura 3.1 *Mapa do Estado do Amapá, com Destaque da Cidade de Macapá.*

3.1.2 Bairro do Trem

O bairro Trem é um dos mais antigos e tradicionais do município de Macapá, está localizado na região central e limita-se com os bairros: Central, Beírol, Santa Inês e Santa Rita. Devido sua situação geográfica faz ligação entre a zona norte e a zona sul tendo um tráfego intenso pela sua maior avenida: Feliciano Coelho que o corta em toda a sua extensão (Figura 3.2). Apresenta uma população de aproximadamente 15.700 habitantes

em 2007 distribuídos em 3. 140 imóveis, de acordo com o Reconhecimento Geográfico-RG realizado pelo Programa Municipal de Controle da Dengue (PMCD) e Secretaria Municipal de Saúde - Prefeitura Municipal de Macapá (SEMSA/PMM). Apresenta como característica principal, sua elevação em relação ao nível do mar, proporcionando desta forma uma visão panorâmica do Rio Amazonas. Composta por uma população de classe média de forma heterogênea constituída por comerciantes, profissionais liberais, funcionários públicos, autônomos e operários.



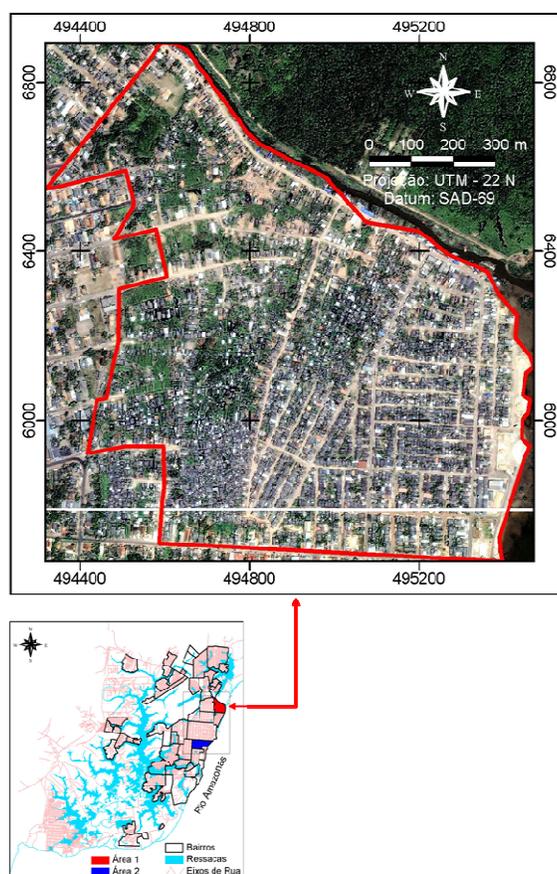
Fonte: Secretaria de Meio Ambiente (SEMA/AP), 2007.

Figura 3.2 *Mapa de Localização do Bairro Trem, Macapá (AP).*

3.1.3 Bairro Cidade Nova

O bairro Cidade Nova surgiu por volta de 1991, está localizado na zona norte do município de Macapá e limita-se ao norte com o canal do Jandiá, ao sul com o bairro do Perpétuo Socorro, ao oeste com os bairros do Pacoval e Julião Ramos e ao leste com o Rio Amazonas (Figura 3.3). Tendo sua criação desordenada o bairro Cidade Nova, ainda não consta registrado oficialmente como bairro no cadastro do IBGE, apresentando uma

população estimada em 18.400 habitantes pelo número de imóveis obtidos através do Reconhecimento Geográfico-RG do PMCD de 3.680 imóveis em 2007. Como a maioria dos bairros do município de Macapá, não possui rede coletora de esgoto sanitário, o que faz com que toda a população utilize fossas sépticas, as quais muitas vezes encontram-se fora dos padrões técnicos preconizados. Todavia, segundo observações realizadas durante a pesquisa de campo, está sendo implantada pela Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA/AP) uma rede de drenagem de água pluvial, direcionada ao Rio Amazonas com o intuito de evitar os alagamentos que ocorrem frequentemente no bairro no período das chuvas. No que diz respeito ao abastecimento de água tratada o fornecimento é precário e irregular, tanto nas áreas de baixada quanto na área mais urbanizada que fica próximo do complexo turístico Canal do Jandiá.



Fonte: Secretaria de Meio Ambiente (SEMA/AP), 2007.

Figura 3.3 Mapa de Localização do Bairro Cidade Nova, Macapá (AP).

3.2 Método de Amostragem

3.2.1 Escolha dos Pontos de Coleta

Os locais de obtenção dos dados foram selecionados com auxílio de mapas e croquis dos serviços operacionais de campo do Departamento de Vigilância Sanitária e Controle de Zoonoses (DVSCZ/PMM), bem como a base cartográfica digital do município de Macapá, contendo o levantamento planimétrico das quadras com os respectivos nomes dos logradouros, foi adquirida a partir do setor de geoprocessamento da Secretaria de Meio Ambiente (SEMA/AP).

Os trabalhos e coletas de campo foram realizados em dois períodos distintos, a fim de se averiguar a preferência para oviposição do vetor. As coletas do período seco foram executadas durante o mês de outubro de 2005 e período chuvoso, durante o mês de fevereiro de 2006. A equipe de campo foi composta por sete pessoas, sendo estes, seis agentes de endemias trabalhando em dupla e um auxiliar de entomologia, especializados, capacitados e integrantes do Programa Municipal de Controle da Dengue (PMCD/DVSCZ/PMM). A classificação dos criadouros foi adaptada aos moldes estabelecidos para o Levantamento de Índice Rápido para *A. aegypti* preconizado pelo Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD) do Ministério da Saúde (MS), com a inclusão do item fossa (ver Apêndice).

3.2.2 Coleta de Imaturos

A coleta dos espécimes foi realizada por meio de “visita domiciliar”, considerando-se a técnica de inspeção preconizada pelo Manual de Normas Técnicas Operacionais do Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD/MS) descritas da seguinte maneira: A inspeção é iniciada pela parte externa (pátio, quintal ou jardim) seguindo sempre pela direita, a inspeção do imóvel prossegue pela visita interna, devendo ser iniciada pela parte dos fundos, passando de um cômodo a outro até aquele situado mais à frente (Brasil, 2001).

Todos os depósitos que continham água foram cuidadosamente examinados com auxílio de fonte de luz (lanterna e/ou espelho) e seu conteúdo, incluindo larvas e pupas coletado com auxílio de pesca-larva e/ou recipiente (concha de ágata) com capacidade de armazenamento de 750 ml. Nos depósitos de grande dimensão (poços, fossas e caixas d’

água), foram coletados no máximo 1000 ml e nos de pequena dimensão (garrafas, latas, pneus, e etc.), coletou-se todo o volume encontrado desde que não ultrapasse 1000 ml. Utilizando-se o pesca-larva, percorria-se rapidamente a superfície da água, visando surpreender e capturar as larvas encontradas. Em seguida, realizando-se movimentos em forma de “8”, percorria-se todo o volume de água até o fundo do depósito. Posteriormente, com auxílio de uma pipeta, todo material contido no pesca larvas era transferido para uma pequena bacia previamente preenchida com água limpa e em seguida acondicionado em tubitos contendo álcool 70%. No caso de inspeção em depósito com grande volume líquido e/ou com muita matéria orgânica, o material coletado com o pesca-larvas ou concha de ágata era transferido para bacia plástica com água limpa, repetia-se essa operação sucessivamente (repassando o material da bacia para o pesca-larvas) até que o material ficasse limpo, para posteriormente se efetuar a das larvas e/ou pupas com a pipeta. Em depósitos de pequenas dimensões (água de vasos de planta, garrafas, pratos de plantas, bacias, baldes entre outros), o conteúdo era transferido diretamente para o pesca-larvas. No caso de coleta com pipetas o material era transferido diretamente para os tubitos (Figura 3.4). Todas as formas imaturas encontradas foram acondicionadas em tubitos devidamente etiquetados, contendo álcool a 70%, e encaminhados ao laboratório de entomologia do DVSCZ/PMM para posterior identificação.



Fonte: UFRA, 2009

Figura 3.4 *Metodologia de Campo Utilizada para Inspeção e Coleta dos Imaturos de A. aegypti.*

Todo material coletado foi disposto em placas de Petri* e observado com auxílio de lupa entomológica, onde se realizava análise qualitativa e quantitativa das larvas e pupas encontradas em cada amostra (Figura 3.5). A identificação dos espécimes coletados foi baseada nas chaves de identificação dos trabalhos de Degallier e Sá Filho (2000) e Forattini (2002).



Fonte: UFRA, 2009

Figura 3.5 *Metodologia de Laboratório Utilizada para Análise dos Espécimes Coletados.*

3.2.3 Obtenção das Amostras e Imagens

Para a obtenção das amostras, selecionou-se no máximo quatro imóveis residenciais por quarteirão de forma a incluir 01 (uma) residência de cada lado do mesmo. Foram excluídos os terrenos baldios e as áreas de ressaca (alagadas), devido ao difícil acesso. A classificação dos imóveis foi feita a partir de um questionário, onde foram abordados os aspectos sócio-cultural da população residente bem como o perfil infra-estrutural de cada imóvel. As imagens foram obtidas por satélite. Essas imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Para o trabalho em questão, a imagem de satélite das áreas foi obtida a partir do satélite *IKONOS* com uma resolução espacial de 1M, dando condições para extrair um maior detalhamento de informações.

3.3 Georreferenciamento dos Bairros

A partir de um Sistema de Posicionamento Global GPS os bairros foram georreferenciados. Os pontos (*waypoints*) foram coletados por um receptor *Garmin GPS III Plus*. Após a coleta em campo os dados foram transferidos para o computador, através do *software TrackMaker*. O programa GPS *TrackMaker* permite a comunicação de dados entre o GPS

* recipiente cilíndrico, achatado, de vidro ou plástico que os biólogos utilizam para a cultura de micróbios.

e o computador, possibilitando a edição dos dados e o armazenamento em disco. A Figura 3.6, apresenta o equipamento utilizado para o georreferenciamento dos imóveis.

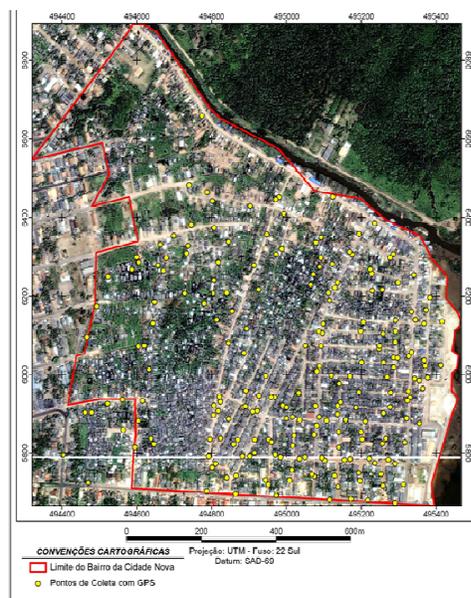


Fonte: UFRA, 2009.

Figura 3.6 *Equipamento Utilizado para o Georreferenciamento dos Imóveis.*

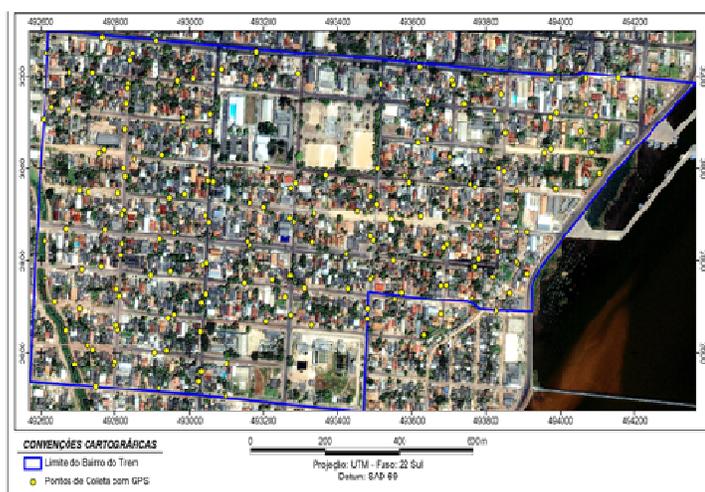
3.3.1 Digitalização dos Bairros

Essa etapa pressupõe a existência de bases cartográficas convencionais (fotos aérea, imagens de satélite ou mapas impressos) que foram convertidas para meios digitais. A digitalização dos bairros foi feita no software Arc View Versão 3.2, o qual permitiu a construção de uma base da imagem. Essa base tomou como referência os pontos coletados pelo GPS. Todos os imóveis dos bairros tiveram sua localização espacial conhecida e todas as informações das amostragens com precisão e confiabilidade. Com a base cartográfica dos municípios, em formato digital, foi possível espacializar os pontos georreferenciados dos imóveis inspecionados nos bairros Cidade Nova e Trem. As Figuras 3.7 e 3.8, apresentam o mapa de localização espacial dos imóveis (latitude e longitude) do bairro Cidade Nova e Trem, respectivamente.



Fonte: UFRA, 2009

Figura 3.7 *Mapa de Localização Espacial dos Imóveis (Latitude e Longitude) do Bairro Cidade Nova, mostrando os 218 pontos (pontos amarelos) de Localização dos Imóveis Inspeccionados, Ano de 2005.*



Fonte: UFRA, 2009.

Figura 3.8 *Mapa de Localização Espacial dos Imóveis (Latitude e Longitude) do Bairro Trem, mostrando os 186 pontos (pontos amarelos) de Localização dos Imóveis Inspeccionados, Ano de 2005.*

3.4 Vetor Cigarrinha

3.4.1 Área de Estudo

A área em estudo localiza-se na Fazenda Castanharo compreendida nas coordenadas $21^{\circ} 48' 22,23''$ S de latitude e $48^{\circ} 24' 47,77''$ W de longitude situada no município de Gavião Peixoto-SP, conforme Figura 3.9. A área do experimento está cultivada com a variedade Pêra Rio, enxertada com Limão Cravo no espaçamento de 5×7 M, totalizando 2.691 plantas, com 5 anos de idade. De acordo com a classificação climática de Köppen (McKnight e Hess, 2000), o clima predominante na região enquadra-se no tipo *Cwa* (clima temperado mesotérmico), que se caracteriza por apresentar temperatura média de 28° C, com verão chuvoso e inverno seco.

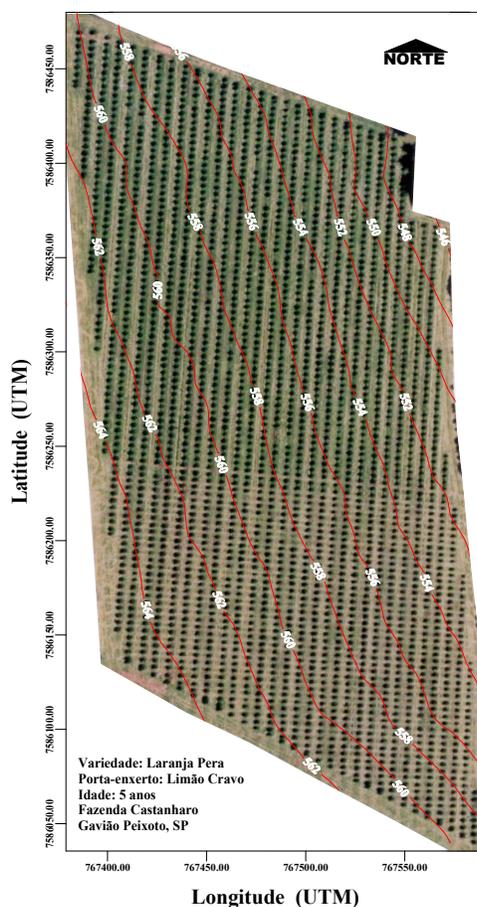


Figura 3.9 Foto Aérea da Área em Estudo, a Fazenda Castanharo Localizada no Município de Gavião Peixoto - SP, Ano de 2001.

3.4.2 Método de Amostragem

Para o monitoramento da ocorrência das cigarrinhas, vetores da *X. fastidiosa* dentro do pomar foi utilizado armadilhas adesivas amarelas (Olson Products Inc., Ohio, USA) de 3" x 5", conforme Figura 3.10, distribuídas uniformemente em 200 plantas amostradas, a 1,5M do solo, trocadas mensalmente e fixadas no lado Oeste das plantas.



Figura 3.10 Detalhe Mostrando uma Armadilha Adesiva para Captura de Cigarrinhas na Área em Estudo, a Fazenda Castanharo Localizada no Município de Gavião Peixoto - SP, Ano de 2001.

As avaliações são realizadas quinzenalmente, contando-se o número e a espécie de cigarrinhas capturadas pela armadilha. Após a segunda avaliação (um mês) as armadilhas são trocadas. As principais espécies de cigarrinhas coletadas são identificadas e contadas por técnicos do Fundecitrus e, posteriormente são tabulados em um banco de dados.

3.4.3 Georreferenciamento dos Talhões

O método consiste em colocar um dos aparelhos GPS (receptor) em um ponto fixo com coordenadas conhecidas, chamado base, que calcula um fator de correção (vetor: rumo e distância) para cada sinal recebido. Os pontos com as coordenadas de cada talhão serão coletados com outro aparelho de GPS (coletor). No caso de talhão regular serão coletados pontos dos quatro cantos. Em área irregular serão coletados mais pontos, a quantidade dependerá da irregularidade do talhão. O fator de correção resultante é armazenado para uso posterior, quando a correção e pós-processamento. Os arquivos de correção da base são comparados com os dados obtidos do coletor, corrigindo-os. Para se melhorar a exatidão do GPS, pode-se utilizar uma correção diferencial, esse sistema é denominado Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS), conforme Figura 3.11. Neste sistema, um

aparelho receptor é instalado em uma posição fixa (base), cuja localização é conhecida. Como a posição dos satélites é conhecida, é possível determinar o erro na determinação da estação fixa. A diferença entre a distância exata da estação fixa até o satélite e a distância determinada com base no sinal recebido pelo aparelho receptor da estação fixa é denominada distância de correção diferencial. Se a correção diferencial é calculada para cada sinal de satélite que a estação fixa recebe, essa correção pode ser usada para melhorar a exatidão da posição determinada por aparelhos receptores que se movem próximos à estação fixa. Como os satélites estão em constante movimento, os valores de correção devem ser constantemente armazenados pela estação fixa para depois serem usados no pós-processamento dos sinais dos receptores móveis.



Figura 3.11 *Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) Geodésico, Utilizado como Base.*

3.4.4 Digitalização das Fotos Aéreas

A partir da digitalização das fotos aéreas é construído uma base da imagem. Essa base toma como referência os pontos coletados pelo GPS nos talhões. Os pontos usado para cons-trução da base da imagem será a maior e a menor coordenada (latitude e longitude) dos cantos de cada perímetros do talhão. Cada planta terá sua localização espacial conhecida e conseqüentemente todas as informações das amostragens com precisão e confiabilidade. Nesse processo de digitalização é construído um banco de dados com as coordenadas (latitude e longitude), o número da fila, da planta e resultados das inspeções de presença ou ausência da doença causada pela *X. fastidiosa*, coletados a partir de um mapa de amostragem, onde a fila e o número da planta são conhecidos.

3.5 Geoestatística

3.5.1 Histórico e Definição

A Geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. Matheron (1963), baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a qual chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os fundamentos da Geoestatística. Conforme Castilho (1998), entende-se por variável regionalizada uma função que varia de um lugar para o outro no espaço com certa aparência de continuidade, ou seja, variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição espacial que ocupam. A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas, se observa pela tendência de tomarem valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados estão os referidos pontos. Segundo Guerra (1988), entende-se continuidade como uma flutuação mais ou menos importante entre valores de amostras vizinhas, refletindo um alto grau, de dependência ou independência, que existe entre um valor e outro. A continuidade geográfica atribuída se manifesta pela propriedade que a variável tem de apresentar valores muito próximos em dois pontos vizinhos e progressivamente mais diferentes à medida que os pontos vão ficando mais distantes (Landim, 1998). Já para Sturaro (1994), a continuidade ou variabilidade espacial, constitui uma das principais características das variáveis regionalizadas, cuja compreensão e modelamento representa a base de toda análise Geoestatística.

Na definição de Matheron (1963), citado por Journel e Huijbregts (1978) “Geoestatística é a aplicação do formalismo de funções aleatórias ao reconhecimento e predição de fenômenos naturais”. Segundo Uzumaki (1994) geralmente pode-se caracterizar um fenômeno natural pela distribuição, no espaço, de uma ou mais variáveis, denominadas variáveis regionalizadas. Logo, a geoestatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de determinada área a ser estudada, utilizando como ferramenta básica a interpolação, gerando como produto um mapa da área segundo um atributo com estimativas não viciadas e de mínima variância (Lamparelli *et al.*, 2001)

3.6 Semivariograma

Os métodos geoestatísticos conseguem juntar o aspecto espacial (topológico) com o aspecto aleatório (probabilístico). Estes métodos se baseiam na teoria das variáveis regionalizadas, a partir da qual é possível estudar a estrutura espacial. Estes métodos nos permitem calcular o erro cometido na avaliação, levando em conta a posição real das amostras (longitude e latitude).

Surgiu, então, a necessidade de se encontrarem novas ferramentas matemáticas que permitam estudar, de modo sintético, as duas características essenciais das variáveis regionalizadas (aspecto aleatório e aspecto espacial), ou seja, extrair da aparente desordem dos dados disponíveis uma imagem da variabilidade dos mesmos e também uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Este é o objetivo da análise estrutural que pode ser alcançada, por exemplo, a partir do semivariograma. O semivariograma, em termos práticos, é uma ferramenta matemática que nos permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e nos dá um mínimo necessário de informação sobre o fenômeno a ser estudado (Valente, 1988).

Para Diniz (1997), o semivariograma é uma curva que representa o grau de continuidade de uma variável regionalizada. Experimentalmente, plota-se à distância h nas abscissas e nas ordenadas, o valor médio do quadrado da diferença entre os valores da variável regionalizada tomados a uma distância h de uma para outra variável. Em termos gerais, o semivariograma é uma função crescente com a distância h , desde que, em média, quanto maior a distância que ambas as amostras estiverem uma da outra, maiores serão as diferenças entre os seus valores. Esta afirmação fornece um conceito preciso da zona de influência de uma amostra. Quanto mais rápido ou lento cresce um variograma, mais rápida ou lentamente será representada a deterioração da influência de uma determinada amostra sobre mais e mais zonas remotas de um determinado fenômeno. As características qualitativas da regionalização são muito bem expressas a partir do variograma.

O variograma é a ferramenta básica, que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado. A natureza estrutural de um conjunto de da-

dos (assumido pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção. A função de semivariância $\gamma(h)$ é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h , conforme

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\}. \quad (3.1)$$

E pode ser estimado por

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{[z(x_i) - z(x_i + h)]^2\}, \quad (3.2)$$

onde, $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância para o intervalo h , $N(h)$ é o número de pares de valores separados entre si por uma magnitude $|h|$ na direção desse vetor e $z(x_i) - z(x_i + h)$, é o valor da diferença de um par de dados que distam h entre eles.

Segundo Sturaro (1988), as principais características estruturais dos semivariogramas, que devem ser consideradas na modelagem variográfica são:

i) Zona de Influência: o semivariograma é uma função de incremento em relação à distância orientada. Teoricamente, a medida que essa distância aumenta mais discrepante serão os dados e maior será a semivariância, até atingir uma separação de total independência entre as amostras. Esta distância é denominada em geoestatística de zona de influência, cuja medida é a amplitude variográfica (alcance).

ii) Anisotropias: quando os semivariogramas apresentam configurações similares para as várias direções, o fenômeno é dito ser isotrópico. Caso contrário, possui algum tipo de anisotropia (tendência). Se os semivariogramas apresentam a mesma forma, mas com diferentes amplitudes, denomina-se anisotropia geométrica.

iii) Continuidade Espacial: a progressão da curva do semivariograma nas pequenas distâncias reflete a continuidade da variável no espaço. Assim, a análise do semivariograma próximo à origem proporciona informações desta natureza da variável. Um semivariograma com comportamento parabólico é reflexo de boa continuidade, já uma forma linear na origem reflete a continuidade moderada no espaço.

O gráfico de $\gamma(h)$ versus h representa o semivariograma, que permite obter a estimativa do valor de semivariância para as diferentes combinações de pares de pontos e assim analisar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de suas características em locais não amostrados (Souza, 1999).

A medida que h aumenta $\gamma(h)$ também aumenta pois é de se esperar que amostras tiradas a uma pequena distância entre si apresentem $[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2$ menores que aquelas tiradas a distâncias maiores (Silva, 1988; Camargo, 1997). O ajuste do modelo matemático aos dados no gráfico, ou seja, a uma função, define os parâmetros do semivariograma, que são: efeito pepita (C_0), que é o valor quando $h = 0$; quando h aumenta freqüentemente, aumenta até uma distância a , chamada de alcance (a) da dependência espacial; e a partir da qual $\gamma(h)$ neste ponto é chamado de patamar (C), cujo valor é aproximadamente igual à variância dos dados, se ela existe, e é obtido pela soma do efeito pepita (C_0) e a variância estrutural (C_1) (Figura 3.12).

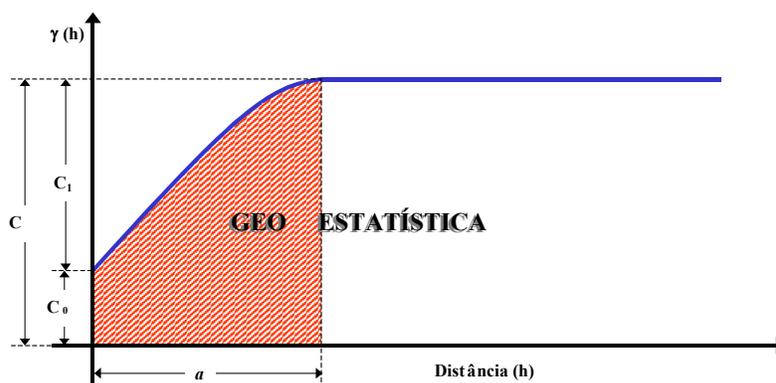


Figura 3.12 *Esquema do Semivariograma Experimental (adaptado de Guerra, 1988).*

Amostras separadas por distâncias menores do que o alcance são espacialmente dependentes, enquanto aquelas separadas por distâncias maiores, não são, ou seja, um semivariograma igual à variância dos dados implica em variação aleatória. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação (“range”) máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados (Souza, 1992).

No comportamento típico de um semivariograma ajustado, o valor de semivariância aumenta à medida que aumenta a distância de separação entre os pontos, até estabilizar-se, ou seja, atingir um patamar (Vieira, 2000). O patamar é atingido quando a variância dos dados se torna constante com a distância entre as amostras. O valor de (h) nesse ponto é aproximadamente igual a variância total dos dados. É um parâmetro importante, pois permite a determinação da distância limite entre dependência e independência das amostras (Silva, 1988). O efeito pepita, que é um parâmetro importante do semivariograma, reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro, que pode ser devida tanto a erros de medidas ou microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada, sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade.

A relação entre os parâmetros C_0 e C_1 fornece um índice $E = \frac{C_0}{C_1}$, denominado de efeito pepita relativo, que expressa a aleatoriedade da regionalização. Segundo Royle (1977), os seguintes intervalos fornecem uma noção da influência do componente aleatório: $E < 0,15 \rightarrow$ Componente aleatório é pequena; $0,15 < E < 0,30 \rightarrow$ Componente aleatório é importante e $E > 0,30 \rightarrow$ Componente aleatório é muito importante. Um outro modo, é analisar a razão $\frac{C_0}{C_0+C_1}$; quando esta for maior que 0,8, a Estatística e a Geoestatística não se diferenciam (Journel e Huijbregts, 1978). Deste modo, pode-se analisar quanto da variância total é causada por variações aleatórias.

Embora possa existir uma infinidade de funções que se ajustam aos semivariogramas, a prática tem mostrado que alguns modelos matemáticos têm satisfeito a maioria das aplicações. E estes modelos, são curvas provenientes ajustadas nos diversos pontos que constituem os chamados semivariogramas experimentais. Escolher um modelo de semivariograma apropriado é algo que ainda guarda certo mistério. Não é um procedimento automático. Requer um bom julgamento baseado na experiência e na compreensão das limitações matemáticas da função (McBratney e Webster, 1986). Neste trabalho, são discutidos apenas os principais.

3.6.1 Modelos com Patamar

Os modelos com patamar são normalmente ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem. A semivariância aumenta à medida que aumenta a distância entre

as amostras, até atingir um patamar (“*sill*”), onde se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. A distância em que o semivariograma atinge o patamar é denominado de alcance (“*range*”), que corresponde ao raio de dependência da variável. Os modelos mais utilizados dentro deste grupo estão representados na Figura 3.13.

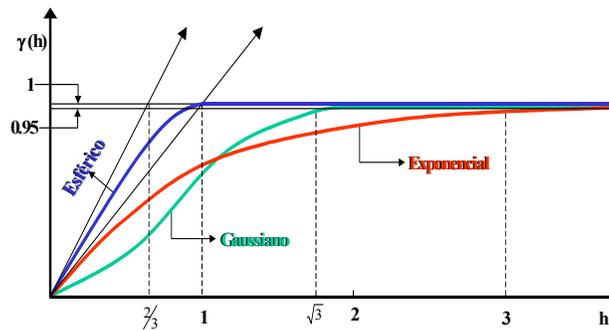


Figura 3.13 *Semivariogramas Com Patamar (adaptado de Rendu, 1978).*

Na Figura 3.13 percebe-se que para uma mesma distância h , os três modelos apresentam variações diferentes (eixo $\gamma(h)$), ou de outra forma, as distâncias onde a tangente na origem intercepta o patamar são diferentes. Assim, na existência de grande continuidade deve-se preferir o modelo gaussiano. O modelo esférico alcança um patamar a uma distância h finita, enquanto o modelo exponencial alcança seu patamar somente assintoticamente. Contudo, devido às flutuações experimentais do variograma, não serão feitas distinções entre um patamar efetivo e um patamar assintótico (Farias *et al.*, 2002a, 2002b).

Nos modelos seguintes, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar, e a é o alcance do semivariograma.

a) Modelo Esférico

O modelo esférico é dado por,

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

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

b) Modelo Exponencial

O modelo exponencial é dado por,

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3\frac{h}{a}\right) \right], 0 < h < d, \quad (3.3)$$

onde, d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro a é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Os parâmetros C_0 e C_1 para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico (Farias *et al.*, 2002a, 2002b).

c) Modelo Gaussiano

O modelo gaussiano é dado por,

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right], 0 < h < d. \quad (3.4)$$

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

d) Modelo Aleatório (Efeito Pepita Puro)

O modelo aleatório é dado por,

$$\gamma(h) = C, \text{ para qualquer } h. \quad (3.5)$$

A medida que aumenta a descontinuidade na origem do semivariograma, mais aleatório é

o fenômeno que originou a variável em análise. Esta característica decorre de uma provável regionalização, inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou às variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras (Farias *et al.*, 2002a, 2002b).

3.6.2 Modelos sem Patamar

Os modelos sem patamar satisfazem apenas a hipótese intrínseca e os semivariogramas podem ser definidos, mas não se estabilizam em nenhum patamar. Esses modelos correspondem a fenômenos que tem uma capacidade infinita de dispersão, e por isto, não tem variância finita e a covariância não pode ser definida. Eles podem ser escritos como,

$$\gamma(h) = C + Ah^B, 0 < B < 2. \quad (3.6)$$

O parâmetro B tem que ser estritamente maior que zero e menor que 2, a fim de garantir que o semivariograma tenha positividade definida condicional. Alguns fenômenos podem ter semivariogramas que mostram estrutura entrelaçada, ou seja, mais de um patamar e mais de um alcance. Isto acontece quando se tem diferentes escalas de variabilidade nos dados.

Conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se estimar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000). O método de interpolação chama-se krigagem e tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados o que permite visualizar o comportamento da variável na região a partir de um mapa de isolinhas ou de superfície.

3.7 Krigagem

A geoestatística utiliza um método de estimação chamado krigagem, o qual usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. Essas duas características fazem da krigagem um interpolador ótimo (Burgess e Webster, 1980).

A krigagem é uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade

em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos resultantes da amostragem realizada. A krigagem, no entanto, faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa. Este estimador tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados (Isaaks e Srivastava, 1989).

Muitas vezes o interesse da análise não se esgota em modelar a estrutura de variabilidade. Em diversas situações o interesse está na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local ou pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. Nestes casos é preciso lançar mão de algum interpolador (preditor) dentre os existentes na literatura. A proposta de predição geostatística é a krigagem. Uma vez que as observações são dependentes, ao menos a certas distâncias, utilizam-se os vizinhos, de forma que o preditor é, simplesmente, uma média ponderada dos valores observados na vizinhança.

Supondo-se que se queira estimar valores, \hat{z} , para qualquer local, x_0 , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, tem-se,

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \quad (3.7)$$

onde, N é o número de valores medidos $z(x_i)$, envolvidos na estimativa e λ_i são os pesos associados a cada valor medido $z(x_i)$. Tomando-se $z(x_i)$ como uma realização da função aleatória $Z(x_i)$, e, por hora, assumindo estacionaridade de ordem 2, o estimador fica,

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i). \quad (3.8)$$

Nota-se que o estimador acima não apresenta qualquer novidade, pois, praticamente, todos os métodos de interpolação seguem esta forma. Por exemplo, na interpolação linear os pesos são todos iguais a $1/N$ e na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos recebem valores variáveis de acordo com o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores medidos usados. No método da

krigagem, os pesos são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa no semi-variograma.

Para que o estimador seja ótimo, ele não pode ser tendencioso e deve ter variância mínima. Matematicamente,

$$E[\widehat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0 \quad (3.9)$$

e

$$Var[\widehat{Z}(x_0)] = E\{[\widehat{Z}(x_0) - Z(x_0)]^2\} = \text{mínima}. \quad (3.10)$$

Estas duas condições devem ser rigorosamente satisfeitas. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças, ponto por ponto, entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas (Farias *et al.*, 2004).

Pode parecer estranho quando se fala em diferenças entre valor estimado e medido, quando o propósito da krigagem é justamente estimar valores para locais onde estes não foram medidos. Porém, as condições impostas nas Equações (3.9) e (3.10), são feitas tendo-se em mente o que poderia acontecer se o valor naquele ponto fosse conhecido. Em outras palavras, o objetivo é que a estimativa represente, o melhor possível, o que seria o valor medido para aquele local. Entretanto, esta expressão não é exclusiva deste preditor. O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é o critério utilizado para obtenção dos pesos λ_i . Mas, não apenas a distância dos vizinhos ao ponto a ser estimado deve ser considerada. Também as distâncias entre os vizinhos devem influir na atribuição dos pesos. Vizinhos agrupados devem ter importância individual relativamente menor do que aqueles isolados.

A krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação, como: krigagem simples, ordinária, universal, indicativa, disjunta e cokrigagem, etc. Porém, este trabalho limita-se à apresentação da Krigagem Indicativa e será descrita a seguir.

3.7.1 Krigagem Indicativa

O conceito inicial de krigagem indicativa foi apresentado por Journel (1988) como uma proposta para construir uma função de distribuição acumulativa condicional (*conditional cumulative distribution function - ccdf*) para a estimativa de distribuições espaciais. No processo básico da krigagem, a estimativa é feita para determinar um valor médio em um local não amostrado. Pode-se, porém, também fazer estimativas baseadas em valores que se situem abaixo ou acima de um determinado nível de corte. Este procedimento, estabelecido para vários níveis de corte (percentis e /ou quartis, por exemplo) de uma distribuição em um determinado local, cuja função poderá ser ajustada (Landim, 2003).

Na krigagem por indicação é necessária a realização de uma transformação não linear sobre o conjunto de dados amostrais $Z(u_\alpha)$, a qual é denominada *codificação por indicação*. A principal vantagem da krigagem por indicação é a de ser uma técnica não paramétrica, ou seja, nenhum tipo de distribuição para a variável aleatória (*v.a.*), é considerado a priori, o que possibilita uma estimativa da função de distribuição para a *v.a.* Desta forma, permite a determinação de incertezas e a inferência de valores do atributo em locais não amostrados. Essa técnica também possibilita a modelagem de dados com grande variabilidade espacial e divide-se em:

i) Krigagem por Indicação para Atributos Numéricos.

A função distribuição acumulada condicionada, a *fdac*, $F(u; z|(n))$, modela a incerteza sobre os valores de $Z(u)$, em posições u não amostradas. A krigagem por indicação permite uma aproximação da *fdac*. A krigagem por indicação requer que os valores dos atributos sejam modificados segundo uma transformação não linear, a codificação por indicação. Um conjunto amostral por indicação $I(u = u_\alpha)$ para um valor de corte z_k é gerado a partir da codificação por indicação aplicada a um conjunto de dados $Z(u = u_\alpha)$ segundo

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } Z(u) \leq z_k \\ 0, & \text{se } Z(u) > z_k. \end{cases} \quad (3.11)$$

A codificação por indicação, ilustrada na Figura 3.14, é aplicada sobre todo conjunto amostral criando, para cada valor de corte, um conjunto amostral por indicação cujos

valores das amostras são transformados em 0 ou 1. Os K valores de corte, z_k , onde $k = 1, 2, \dots, K$, são definidos em função do número de amostras.

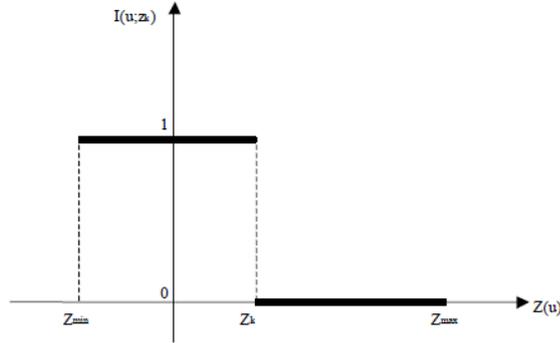


Figura 3.14 Codificação por Indicação dos Dados Amostrais Para o Valor de Corte $Z = Z_K$, adaptado de Felgueiras (1999).

O conjunto amostral codificado é utilizado para inferir valores para variáveis aleatórias por indicação $I(u; z_k)$, com $u \neq u_\alpha$. Segundo Felgueiras (1999), a esperança condicional da v.a. numérica por indicação $I(u; z_k)$ é calculada a partir de 3.12.

$$\begin{aligned} E\{I(u; z_k|(n))\} &= 1 \times \text{prob}\{I(u; z_k) = 1|(n)\} + 0 \times \text{prob}\{I(u; z_k) = 0|(n)\} \quad (3.12) \\ &= 1 \times \text{prob}\{I(u; z_k) = 1/(n)\} = \widehat{F}(u; z_k|(n)). \end{aligned}$$

A formulação acima mostra que a esperança condicional de $I(u; z_k)$ fornece, para cada valor de corte z_k , uma estimativa da função de distribuição acumulada condicionada, $\widehat{F}(u; z_k|(n))$, para atributos numéricos.

A krigagem por indicação simples é dada pela Equação 3.13.

$$\widehat{F}_S(u; z_k|(n)) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{S\alpha}(u; z_k) i(u_\alpha; z_k) + [1 - \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{S\alpha}(u; z_k) \widehat{F}(z_k)]. \quad (3.13)$$

onde, $\widehat{F}(z_k)$ é a média da função aleatória da região estacionária; $w_{S\alpha}(u; z_k)$ são os pesos determinados com o objetivo de minimizar a variância do erro da estimação.

No entanto, considerando que a somatória dos pesos seja igual a 1 têm-se a krigagem por indicação ordinária, obtida por

$$\widehat{F}_O(u; z_k | (n)) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{O\alpha}(u; z_k) i(u_\alpha; z_k). \quad (3.14)$$

Os pesos $w_{O\alpha}(u; z_k)$ são calculados resolvendo o sistema de equações dados por

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u)} w_{O\beta}(u; z_k) C_1(h_{\alpha\beta}; z_k) + \phi(u; z_k) = C_1(h_\alpha; z_k) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} w_{O\beta}(u; z_k) = 1 \end{cases} \quad (3.15)$$

onde, $\phi(u; z_k)$ é o multiplicador de Lagrange; $h_{\alpha\beta}$ é o vetor separação definido pelas posições u_α e u_β ; h_α é o vetor definido entre as posições u_α e u ; $C_1(h_{\alpha\beta}; z_k)$ é a autocovariância dada por $h_{\alpha\beta}$ e $C_1(h_\alpha; z_k)$ é a autocovariância dada por h_α .

A krigagem por indicação, tanto simples quanto ordinária, fornece estimativas para cada valor de corte z_k , que é também a melhor estimativa mínima quadrática da esperança condicional da v.a. $I(u, z_k)$. Utilizando esta propriedade, pode-se calcular estimativas dos valores da *fdac* de $Z(u)$ para vários valores de $z = z_k$, pertencentes ao domínio de $Z(u)$. Calculando as estimativas para diversos valores de corte da *fdac* de $Z(u)$, tem-se uma aproximação discretizada da *fdac* real de $Z(u)$. Por isso, quanto maior for o número de cortes melhor será a aproximação. Quanto maior a quantidade de valores de corte, melhor é a aproximação (Felgueiras, 1999).

ii) Krigagem por Indicação para Atributos Temáticos.

A diferença básica entre a krigagem por indicação para dados temáticos e a krigagem por indicação para dados numéricos, é a codificação por indicação das v.a. temáticas. Para dados temáticos, esta codificação tem a seguinte formulação,

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, \text{ se } Z(u) = z_k \\ 0, \text{ se } Z(u) \neq z_k. \end{cases} \quad (3.16)$$

onde, os valores de corte z_k , $k = 1, 2, \dots, K$, são valores das K classes que pertencem ao domínio da função aleatória $Z(u)$ definida na região A .

A esperança condicional da *v.a.* temática por indicação $I(u; z_k)$ é definida como,

$$\begin{aligned} E\{I(u; z_k | (n))\} &= 1 \times \text{Prob}\{I(u; z_k) = 1 | (n)\} + 0 \times \text{Prob}\{I(u; z_k) = 0 | (n)\} \\ &= 1 \times \text{Prob}\{I(u; z_k) = 1 / (n)\} = \widehat{F}(u; z_k | (n)). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Este resultado mostra que é possível inferir valores da função de distribuição de probabilidade condicionada (*fdpc*), de uma classe z_k , a partir da esperança condicional do conjunto amostral por indicação $I(u; z_k)$. A esperança condicional pode ser inferida pelos procedimentos de krigagem por indicação descritos no item anterior.

Para dados temáticos, a krigagem por indicação, simples ou ordinária, fornece, para cada classe z_k , uma estimativa que é, também, a melhor estimativa mínima quadrática da esperança condicional da *v.a.* $I(u; z_k)$. Utilizando esta propriedade, pode-se calcular estimativas dos valores da *fdpc* de $Z(u)$ para todas as classes z_k do domínio de $Z(u)$. O conjunto destes valores representa uma estimativa da *fdpc* da *v.a.* temática em u . Em resumo, o estimador de krigagem por indicação, aplicado a uma *v.a.* temática, possibilita a inferência dos valores de probabilidade $p_k(u)$, para cada classe z_k , $k = 1, 2, \dots, K$, em uma determinada localização u .

Assim, a krigagem por indicação é dita não paramétrica, pois não considera nenhum tipo de distribuição de probabilidade a priori para a variável aleatória. Ao invés disso, ela possibilita a construção de uma aproximação discretizada da *fdac* de $Z(u)$. Os valores de probabilidades discretizados podem ser usados diretamente para se estimar valores estatísticos característicos da distribuição, tais como: valor médio, variância, mediana, quantis e outros.

3.8 Simulação Condicional

Simular significa representar por semelhança. Nesta seção apresentam-se os formalismos matemáticos do procedimento geoestatístico de *simulação estocástica condicionada*, que possibilita a criação de campos aleatórios semelhantes, segundo critérios probabilísticos. Estes campos, realizações de funções aleatórias, são usados para caracterizar distribuições de probabilidade que, como já enfatizado nos procedimentos de krigagem, modelam as

incertezas associadas aos valores de variáveis ou de campos aleatórios. Entretanto, as funções de distribuição probabilística são construídas de maneiras distintas pela krigagem e pela simulação estocástica condicionada.

A simulação estocástica ou probabilística de um sistema oferece meios para a geração de inúmeras seqüências independentes do fenômeno. Cada sorteio gera uma nova série, diferente, porém, com as mesmas propriedades estatísticas e igualmente prováveis. Com as séries distintas entre si, são obtidos diversos resultados provenientes das simulações, ao invés de um único resultado, como ocorre no processo de estimativa. Assim, torna-se possível que o planejador, por exemplo, tome sua decisão baseado não em um evento isolado, mas na análise probabilística do fenômeno estudado (Fonseca, 2004). A característica principal da simulação é a capacidade de reproduzir a variação dos dados de entrada, tanto no sentido univariado (via histograma) quanto espacialmente, a partir do variograma ou outro modelo de covariância (Vann *et al.*, 2002).

Para Deutsch e Journel (1998) a simulação estocástica é o processo de construir realizações igualmente prováveis das variáveis aleatórias componentes de um modelo de funções aleatórias. Cada uma das realizações, também conhecidas como imagens estocásticas, devem refletir as propriedades impostas no modelo de função aleatória. As simulações podem ser ditas condicionais quando assumem nos pontos amostrais os mesmos valores que aqueles observados, ou seja, o modelo simulado é dito condicionalmente simulado se ele honrar os valores nos pontos amostrados e reproduzir as mesmas características da dispersão dos dados originais, isto é, a média, a variância e a covariância (variograma).

O condicionamento considera os dados amostrais originais e também os valores pré-simulados dentro da vizinhança de u . Esta característica da simulação condicionada faz com que esse procedimento seja mais completo que o da krigagem no que se refere ao modelo de covariância. As *fdac* estimadas por krigagem estão condicionadas apenas às amostras, caracterizando a incerteza estimada a partir dessas, como local. As *fdac* estimadas por simulação consideram também os valores pré-simulados, permitindo informação sobre a incerteza conjunta das variáveis. O conjunto de realizações pode ser usado na determinação de parâmetros estatísticos da *fdac* local de uma *v.a.* ou da *fdac* conjunta de uma função aleatória (FA). A partir da *fdac* torna-se possível definir vários intervalos

de probabilidade que podem ser usados para medidas associadas a incertezas (Felgueiras, 1999).

Deutsch e Journel (1998), apresentam uma metodologia eficiente que aproxima a simulação conjunta de várias variáveis aleatórias, denominada *simulação sequencial condicionada*. Essa simulação usa a função de distribuição acumulada condicionada, às *v.a.* mais correlacionadas, para obter valores $z(u)$, de uma *v.a.* Z em cada posição $u \in A$. A geoestatística oferece basicamente duas abordagens de simulação sequencial condicionada: a simulação sequencial paramétrica e a simulação sequencial não-paramétrica. Do ponto de vista do método de simulação sequencial condicionada, a diferença básica entre essas duas abordagens consiste na forma de estimar a *fdac* univariada, que pode adotar a abordagem paramétrica ou não.

Na simulação sequencial condicionada paramétrica, a *fdac* é estimada a priori por um conjunto limitado de parâmetros, como ocorre com o modelo de distribuição gaussiana, que é totalmente determinado pelos valores da média e da variância da distribuição, e é neste caso, denominada simulação sequencial gaussiana (SSG). Neste caso, para cada localização u a simular, a *fdac*, é estimada pela média e variância obtidas diretamente dos estimadores de krigagem. Trata-se de um modo bastante simples de estimar as *fdac*, no entanto, este método requer a hipótese de multi-normalidade dos dados, uma suposição de difícil verificação e que pode não ser apropriada para modelagem de certos fenômenos. Mais detalhes desta abordagem podem ser vistos em Goovaerts (1997) e Deutsch e Journel (1998).

A simulação sequencial condicionada não-paramétrica não requer que a *fdac* seja estimada a priori, e, portanto, não pode ser determinada por um conjunto limitado de parâmetros. Neste caso, para cada localização u a simular, a *fdac* é obtida por um conjunto de valores estimados que representam uma aproximação discretizada do modelo de distribuição. Este procedimento é realizado empregando-se o formalismo por Indicação (abordado na seção 3.6.1) e é denominado simulação sequencial condicionada por indicação (SSI). Mais detalhes desta abordagem podem ser vistos em Goovaerts (1997); Deutsch e Journel (1998) e Felgueiras (1999).

Das abordagens de simulação sequencial condicionada, a paramétrica e a não-paramétrica,

este trabalho limitou-se ao método simulação sequencial condicionada por indicação. A razão desta escolha é que este procedimento de simulação, diferente do método SSG, não impõe nenhum tipo de distribuição de probabilidade a priori para as *v.a.* que serão utilizadas no processo de modelagem espacial.

3.8.1 Simulação Sequencial Condicionada por Indicação

A estimativa da *v.a.* $Z(u)$, por simulação sequencial condicionada por indicação, apresentada em Camargo (2007), ocorre na seguinte seqüência:

a) Estimação da *v.a.* $Z(u)$ de cada área componente da região de estudo, denotada por $Z(u_i)$. Isto resulta um conjunto de estimativas, $\{z(u_i), i = 1, \dots, N\}$;

b) Definição de valores de cortes, denotado por $z_k, k = 1, \dots, K$, sobre o conjunto de dados $\{z(u_i), i = 1, \dots, N\}$;

c) Para cada valor de corte z_k estabelecido, transforma-se a *v.a.* $Z(u_i)$ em uma variável indicadora, denotada por $I(u_i; z_k)$ [ver equação 3.11]. Obtém-se, assim, um conjunto de valores $\{i(u_i), i = 1, \dots, N\}$ da *v.a.* $I(u_i; z_k)$;

d) Para cada conjunto $\{i(u_i), i = 1, \dots, N\}$ da *v.a.* $I(u_i; z_k)$, define-se um modelo teórico de semivariograma;

e) Aplicação do método SSI para obtenção de um conjunto de imagens equiprováveis ou igualmente representativas do campo aleatório $Z(u)$;

f) Construção da *fdac* de $Z(u_i)$, em cada localização u_i a partir do conjunto de imagens simuladas.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo é realizada a avaliação da distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional. Para tanto, utilizam-se os vetores *Aedes aegypti* e Cigarrinhas, dados disponibilizados pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Assim, para verificar a incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti*, no município de Macapá-AP, foram inspecionados 404 imóveis, onde 186 imóveis são do bairro Trem e 218 imóveis do bairro Cidade Nova. O estudo do vetor Cigarrinha, foi realizado na fazenda Cas-tanharo, localizada no município de Gavião Peixoto-São Paulo, especializada no cultivo de laranja pêra, enxertada com limão cravo. Das 2961 plantas do talhão em estudo, retirou-se uma amostra de 200 plantas.

4.1 Vetor *Aedes aegypti*

4.1.1 Análise Exploratória dos Dados do Vetor *Aedes aegypti*

A Tabela 4.1 apresenta a quantidade e percentual de imóveis inspecionados no município de Macapá, para a verificação da incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti*, nos bairros Trem e Cidade Nova para os períodos seco (Out/05) e chuvoso (Fev/06). Nela, verifica-se que os maiores números de incidência de larvas, foram registrados para o período chuvoso; sendo o bairro Cidade Nova o que apresentou maior quantidade de larvas coletadas.

Tabela 4.1 *Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados no Município de Macapá, para a Verificação da Incidência de Larvas do Vetor Aedes aegypti, nos Bairros Trem e Cidade Nova, para os Períodos Seco (Out/2005) e Chuvoso (Fev/2006).*

	Variáveis	Período Seco		Período Chuvoso	
		Quantidade	Percentual	Quantidade	Percentual
Bairro do Trem	Ausência	164	88,17	148	79,57
	Presença	22	11,83	38	20,43
	Total	186	100,00	186	100,00
Bairro Cidade Nova	Ausência	181	83,03	156	71,56
	Presença	37	16,97	62	28,44
	Total	218	100,00	218	100,00

Fonte: UFRA, 2009.

A Tabela 4.2 apresenta a quantidade e o percentual de imóveis inspeccionados, no município de Macapá, com incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti*, para o bairro trem nos dois períodos de coleta, por tipos de depósitos. Pode-se observar de um modo geral, que os depósitos móveis, fixos e removíveis teve a incidência de larvas aumentada no período chuvoso, com 100%, 116,67% e 50%, respectivamente.

Tabela 4.2 *Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados, no Município de Macapá, com Incidência de Larvas do Vetor Aedes aegypti, para o Bairro Trem nos Dois Períodos de Coleta, por Tipos de Depósitos.*

Tipos de Depósitos	Seco(Out/2005)		Chuvoso (Fev/2006)		Diferença(%)
	Quantidade	Percentual	Quantidade	Percentual	
Depósitos de Água	1	4,00	0	0,00	-
Depósitos Móveis	3	12,00	6	14,63	+ 100,00
Depósitos Fixos	6	24,00	13	31,71	+ 116,67
Depósitos Removíveis	14	56,00	21	51,22	+ 50,00
Depósitos Naturais	1	4,00	0	0,00	-
Fossa	0	0,00	1	2,44	-
Total	25*	100,00	41*	100,00	-

Fonte: UFRA, 2009.

*Para os dois períodos 3 imóveis apresentaram presença de larvas em mais de um tipo de depósito.

A Tabela 4.3 apresenta a quantidade e o percentual de imóveis inspeccionados, no município de Macapá, com incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti* para o bairro cidade nova nos dois períodos de coleta, por tipos de depósitos. Observa-se que para os depósitos

fixos e fossa houve um aumento na incidência de larvas para o período chuvoso, de 375% e 181,82%, respectivamente. Para os depósitos de água, móveis e removíveis, houve um decréscimo na incidência de larvas para o período chuvoso de 71,43%, 25% e 7,69%, respectivamente. Já os depósitos naturais não apresentaram incidência de larvas nos dois períodos de coleta.

Tabela 4.3 *Quantidade e Percentual de Imóveis Inspeccionados, no Município de Macapá, com Incidência de Larvas do Vetor Aedes aegypti, para o Bairro Cidade Nova nos Dois Períodos de Coleta, por Tipos de Depósitos.*

Tipos de Depósitos	Seco (Out/2005)		Chuvoso (Fev/2006)		Diferença(%)
	Quantidade	Percentual	Quantidade	Percentual	
Depósitos de Água	7	17,95	2	2,99	- 71,43
Depósitos Móveis	4	10,26	3	4,48	- 25,00
Depósitos Fixos	4	10,26	19	28,36	+ 375,00
Depósitos Removíveis	13	33,32	12	17,91	- 7,69
Depósitos Naturais	0	0,00	0	0,00	-
Fossa	11	28,21	31	46,27	+ 181,82
Total	39*	100,00	67*	100,00	-

Fonte: UFRA, 2009.

*Para o período seco 2 imóveis apresentaram presença de larvas em mais de um tipo de depósito, e para o período chuvoso foram 5 imóveis.

4.1.2 Análise Geoestatística do Vetor *Aedes aegypti*

A Geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados. Para tanto, é necessário conhecer o grau de dependência espacial entre as amostras, que pode ser avaliado pelo semivariograma, para exame e interpretação da variabilidade espacial. Na Tabela 4.4 são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados nos semivariogramas, modelos, coeficiente de determinação (R^2), índice do efeito pepita relativo (E) e o k parâmetro. Nela, observa-se que para as variáveis estudadas, os parâmetros do semivariograma foram ajustados considerando o grau de ajuste dos modelos, verificado pelo (R^2).

Tabela 4.4 *Parâmetros dos Modelos Ajustados nos Semivariogramas, Modelos, R^2 , Índice do Efeito Pepita Relativo (E) e k parâmetro, para a Incidência de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* nos Bairros Trem e Cidade Nova, para os Dois Períodos de Coleta.*

	Variáveis	Parâmetros			Modelo	R^2	E	k
		C_0	C_1	$a(m)$				
Bairro do Trem	Período Seco (Out/05)	0,03	0,09	150	Exponencial	0,99	0,33	0,25
	Período Chuvoso (Fev/06)	0,05	0,12	120	Exponencial	0,98	0,42	0,30
Bairro Cidade Nova	Período Seco (Out/05)	0,06	0,11	120	Exponencial	0,99	0,55	0,35
	Período Chuvoso (Fev/06)	0,12	0,10	160	Exponencial	0,98	1,20	0,55

Nota: $E = C_0/C_1$ e $k = C_0/(C_0 + C_1)$, onde C_0 : efeito pepita, C_1 : patamar e a : alcance

O semivariograma e os parâmetros do modelo ajustado para a incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti* para os períodos seco e chuvoso no bairro trem, estão representados na Figura 4.1 A e B, que mostram que o modelo exponencial se ajustou tanto aos dados de incidência de larvas para o período seco, quanto para o período chuvoso, apresentando uma dependência espacial (alcance) de $150m$ e $120m$, respectivamente. Para o período seco o efeito pepita relativo (E) é da ordem de $0,33$ e a razão (k) é igual a $0,25$. Para o período chuvoso, o bairro do trem apresenta $E = 0,42$ e $k = 0,30$, indicando assim, existência de aleatoriedade significativa em ambas às amostras, para os dois períodos.

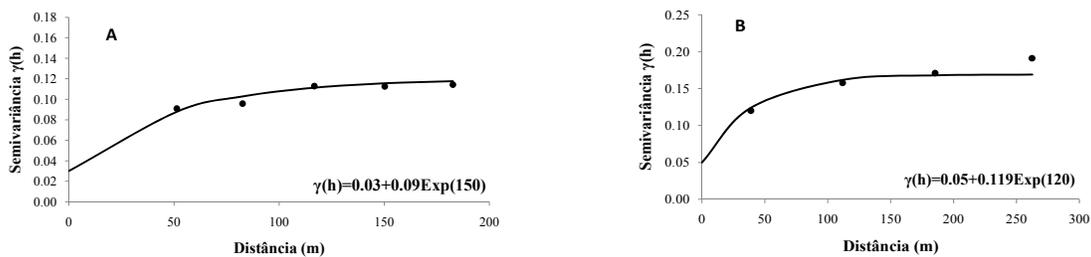


Figura 4.1 *Semivariogramas da Incidência de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* no Bairro Trem nos Períodos: A - Período Seco (Out/ 2005) e B - Período Chuvoso (Fev/ 2006).*

A Figura 4.2 C e D apresenta os semivariogramas e os parâmetros do modelo ajustado para a incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti* para o período seco (Out/05) e chuvoso (Fev/06), no bairro cidade nova. Nela, observa-se que o modelo exponencial se ajustou tanto aos dados de incidência de larvas para o período seco, quanto para o período chu-

vosu, apresentando uma dependência espacial (alcance) de 120m e 160m, respectivamente. Observa-se ainda, que para o período seco o efeito pepita relativo (E) foi da ordem de 0,55, que indica que o componente de aleatoriedade é muito importante. E o parâmetro k foi de 0,35, o que indica que cerca de 35% da variação das amostras é aleatória. Para o período chuvoso o E foi da ordem de 1,20 e k igual a 0,55. Assim, por mais próximas que estejam as unidades amostrais, esta variabilidade estará presente.

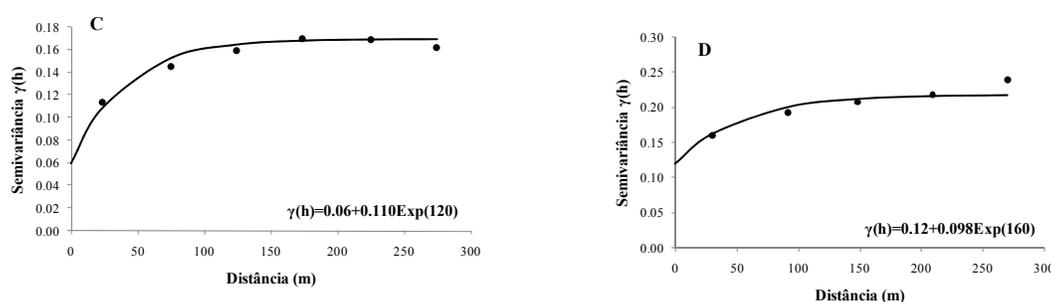


Figura 4.2 Semivariogramas da Incidência de Larvas do Vetor *Aedes Aegypti* no Bairro Cidade Nova nos Períodos: C - Período Seco (Out/ 2005) e D - Período Chuvoso (Fev/ 2006).

4.1.3 Krigagem do Vetor *Aedes aegypti*

A partir dos parâmetros dos semivariogramas foi realizada a krigagem indicativa para estimar as interpolações necessárias à construção dos mapas de contornos da incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti*, onde as cores mais intensas indicam áreas que apresentam uma grande incidência de larvas desse vetor.

Nota-se a partir da Figura 4.3, que apresenta os mapas de krigagem para a incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti* para o bairro trem, nos períodos seco(out/2005) e chuvoso(fev/2006). Nela, observa-se que, no bairro trem a incidência de larvas tanto para o período seco como para o período chuvoso, mostra um comportamento espacial apresentando tendência de variabilidade regular, uma vez que a incidência de larvas nos dois períodos estudados foram semelhantes e aleatórios quanto à disposição no espaço. Porém, para o período chuvoso observa-se que alguns imóveis apresentam incidência de larvas um pouco maior do que no período seco, que apresenta uma pequena área com incidência de larvas.

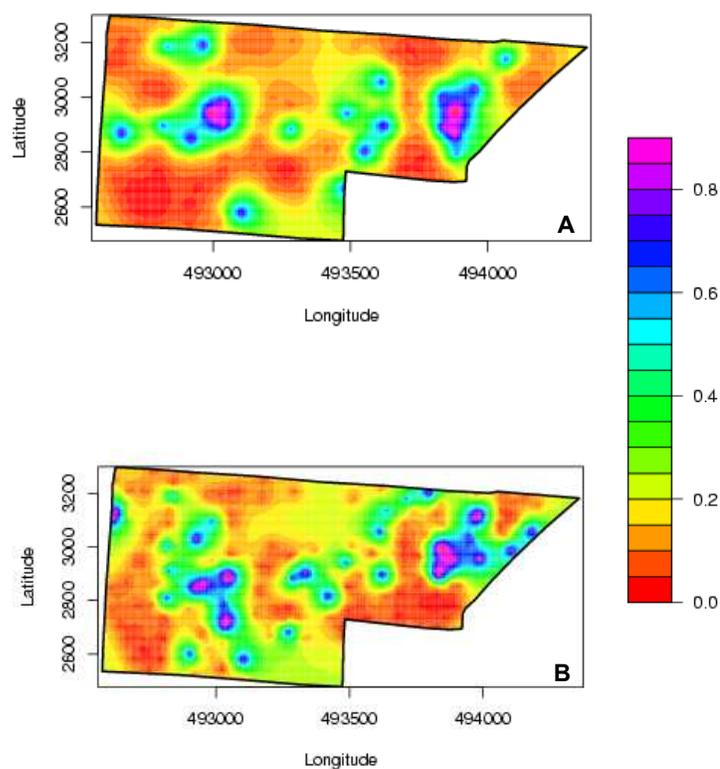


Figura 4.3 Mapas de Krigagem com os Valores Observados de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* para o Bairro Trem, nos Períodos: A - Seco (Out/2005) e B - Chuvoso (Fev/2006).

A Figura 4.4 apresenta os mapas de krigagem para incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti* para o bairro cidade nova, nos períodos seco (Out/2005) e chuvoso (Fev/2006). Verifica-se que neste bairro houve diferença entre a distribuição temporal da incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos dois períodos estudados. Observa-se ainda, um número considerável de imóveis que apresentam um aumento na incidência de larvas do período seco para o chuvoso. Mas, apesar da distribuição temporal da incidência de larvas dos imóveis no período chuvoso ter apresentado mais larvas nos imóveis do período seco, os mesmos localizam-se principalmente na área ao leste do bairro, área mais baixa e próxima da margem do Rio Amazonas.

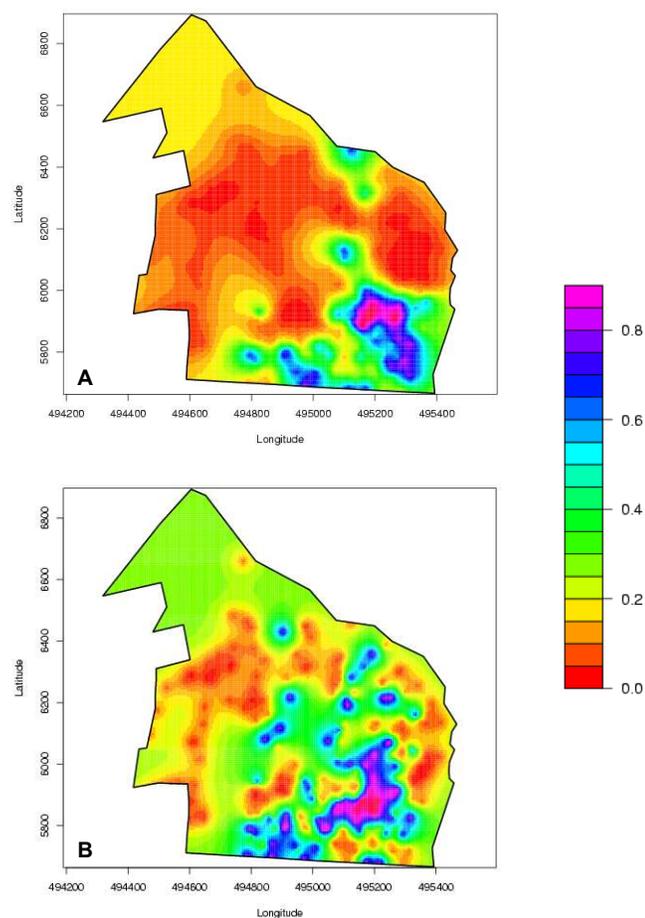


Figura 4.4 Mapas de Krigagem com os Valores Observados de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* para o Bairro Cidade Nova, nos Períodos: A - Seco (Out/2005) e B - Chuvoso (Fev/2006).

4.2 Vetor Cigarrinha

4.2.1 Análise Exploratória dos Dados do Vetor Cigarrinha

A Tabela 4.5 apresenta a quantidade e o percentual de plantas cítricas inspecionadas na fazenda Castanharo, para a verificação da incidência do vetor Cigarrinha, no período de outubro de 2000 a dezembro de 2001. Nela, observa-se que 64% destas plantas estão infestadas.

Tabela 4.5 *Quantidade e Percentual de Plantas Cítricas Inspeccionadas na Fazenda Castanharo, para a Verificação da Incidência do Vetor Cigarrinha, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001.*

Classificação	Quantidade	Percentual
Não Infestada	72	36,00
Infestada	128	64,00
Total	200	100,00

Fonte: UFRA, 2009.

A Tabela 4.6 apresenta a quantidade e o percentual de plantas cítricas inspeccionadas na fazenda Castanharo, para a verificação da incidência do vetor cigarrinha, no período de outubro de 2000 a dezembro de 2001, por amostragem. Verifica-se que das amostras coletadas mensalmente nas plantas, o mês de março de 2001 e dezembro de 2001 apresentam o maior percentual de incidência, com 12,38% e 23,34%, respectivamente. Já o mês de outubro de 2000 e setembro de 2001 apresentam o menor percentual de incidência, com 1,90% e 4,76%, respectivamente.

Tabela 4.6 *Quantidade e Percentual de Plantas Cítricas Inspeccionadas, para a Verificação da Incidência do Vetor Cigarrinha, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001, por amostragem.*

Período	Quantidade	Percentual
Out/2000	4	1,90
Nov/2000	21	10,00
Jan/2001	16	7,62
Fev/2001	15	7,14
Mar/2001	26	12,38
Mai/2001	11	5,24
Ago/2001	24	11,43
Set/2001	10	4,76
Out/2001	19	9,05
Nov/2001	15	7,14
Dez/2001	49	23,34
Total	210	100,00

Fonte: UFRA, 2009.

4.2.2 Análise Geoestatística do Vetor Cigarrinha

A partir da Tabela 4.7, observa-se os parâmetros dos modelos ajustados para a incidência do vetor Cigarrinha, onde todos os modelos estudados apresentam um coeficiente de determinação acima de 0,94, correspondendo a um ótimo ajuste e baixa variabilidade das semivariâncias. Observa-se ainda, que o parâmetro k , representa a relação do efeito pepita (erro) e a explicação do modelo $(C_0 + C_1)$, onde todos os modelos apresentaram-se próximos de zero, indicando assim a existência de relação entre as amostras (Journel e Huijbregts, 1978). A área de alcance, no período em estudo, variou de 907 m^2 a 15.386 m^2 . E por fim, têm-se que os meses de março de 2001 e dezembro de 2001 apresentam a maior incidência de infestação, com 0,130 e 0,245, respectivamente, correspondendo a estação do ano do outono e verão, com maiores índices de infestação.

Tabela 4.7 *Resultados da Incidência da Cigarrinha a partir dos Modelos Ajustados nos Semivariogramas, das Plantas Cítricas Inspeccionadas na Fazenda Castanharo, no Período de Outubro de 2000 a Dezembro de 2001.*

Variável	Índice de Infestação	Parâmetros			Modelo	R^2	Área (m^2)	k	Estação do Ano
		C_0	C_1	$a(m)$					
Out/2000	0,020	0,002	0,016	25	Gaussiano	1,00	1.963	0,111	Primavera
Nov/2000	0,105	0,030	0,055	70	Exponencial	0,94	15.386	0,353	Primavera
Jan/2001	0,080	0,010	0,060	65	Exponencial	0,99	13.267	0,143	Verão
Fev/2001	0,075	0,020	0,056	70	Exponencial	0,99	15.386	0,263	Verão
Mar/2001	0,130	0,040	0,080	39.5	Esférico	0,99	4.899	0,333	Outono
Mai/2001	0,055	0,010	0,035	50	Exponencial	0,99	7.850	0,222	Outono
Ago/2001	0,120	0,040	0,060	30	Esférico	1,00	2.826	0,400	Inverno
Set/2001	0,050	0,020	0,029	50	Exponencial	0,94	7.850	0,408	Primavera
Out/2001	0,095	0,010	0,090	17	Gaussiano	0,96	907	0,100	Primavera
Nov/2001	0,075	0,045	0,022	26	Esférico	0,96	2.123	0,672	Primavera
Dez/2001	0,245	0,050	0,160	35	Esférico	1,00	3,847	0,238	Verão

Nota: Área é calculada por $\pi.r^2$, onde $\pi = 3,14$ e $r = a$.
 $k = C_0/(C_0 + C_1)$.

Para os períodos de amostragens de outubro de 2000 e 2001, os semivariogramas se ajustaram ao modelo gaussiano, com uma dependência espacial (alcance) de $25m$ e $17m$, respectivamente. Os semivariogramas se ajustaram ao modelo exponencial para os períodos de amostragens de novembro de 2000 ($a = 70m$), janeiro de 2001 ($a = 65m$), fevereiro de 2001 ($a = 70m$), maio de 2001 e setembro de 2001, ambos com uma dependência espacial de $50m$. E para os períodos de março de 2001, agosto de 2001, novembro de 2001 e dezembro de 2001, ajustou-se ao modelo esférico, com uma dependência espacial de $39,5m$; $30m$; $26m$ e $35m$, respectivamente, conforme observa-se nas Figuras 4.5 E e G e as Figuras 4.6 J e K, por apresentarem o maior (R^2). A variabilidade sazonal dos modelos de distribuição espacial para cada uma das espécies de cigarrinhas, revelada neste estudo, é provavelmente resultado da combinação de diversos fatores, incluindo a tendência dos adultos para alimentação e oviposição, bem como o clima.

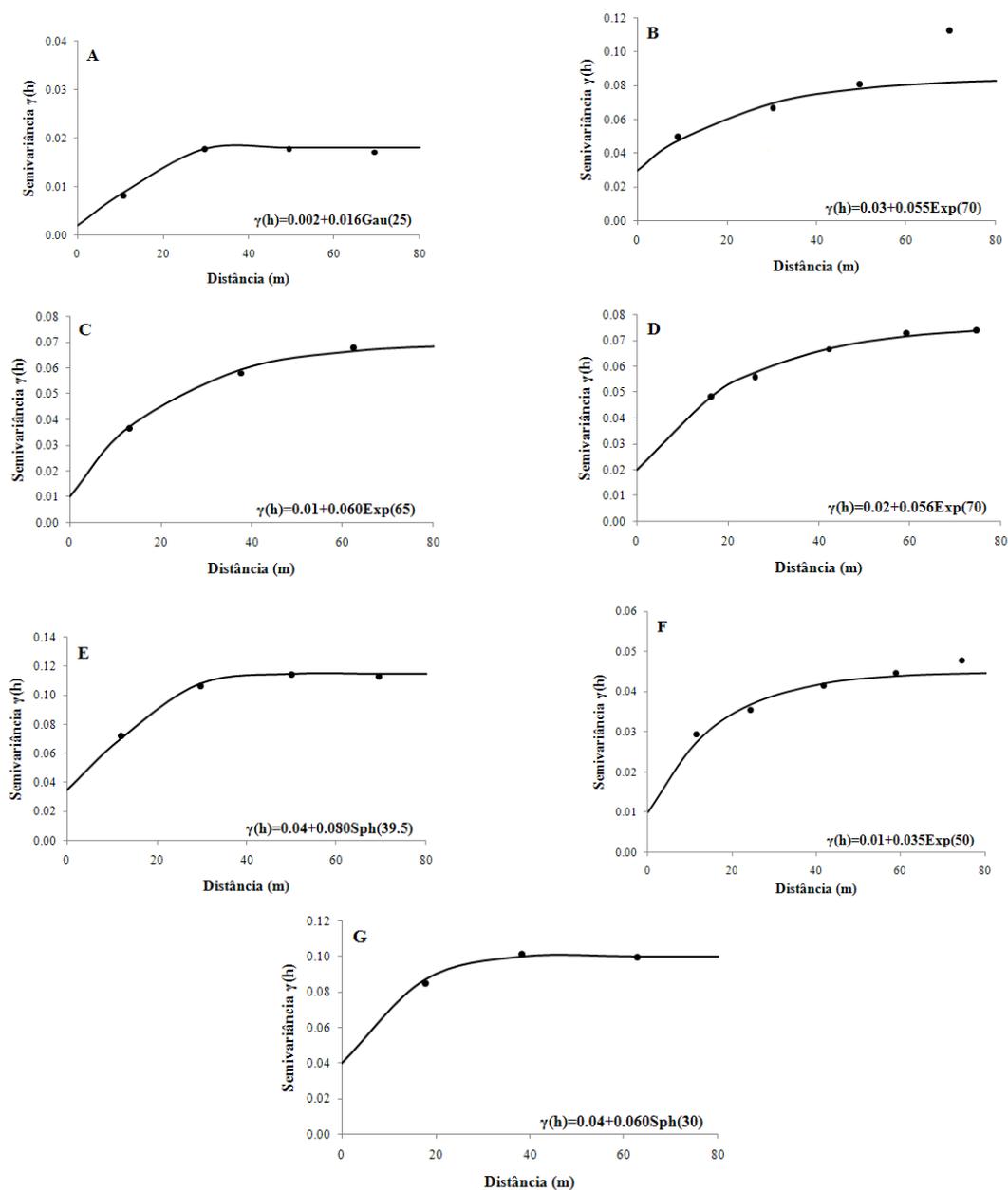


Figura 4.5 Semivariogramas da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, nos Períodos de : A - Out/2000; B - Nov/2000; C - Jan/2001; D - Fev/2001; E - Mar/2001; F - Mai/2001 e G - Ago/2001.

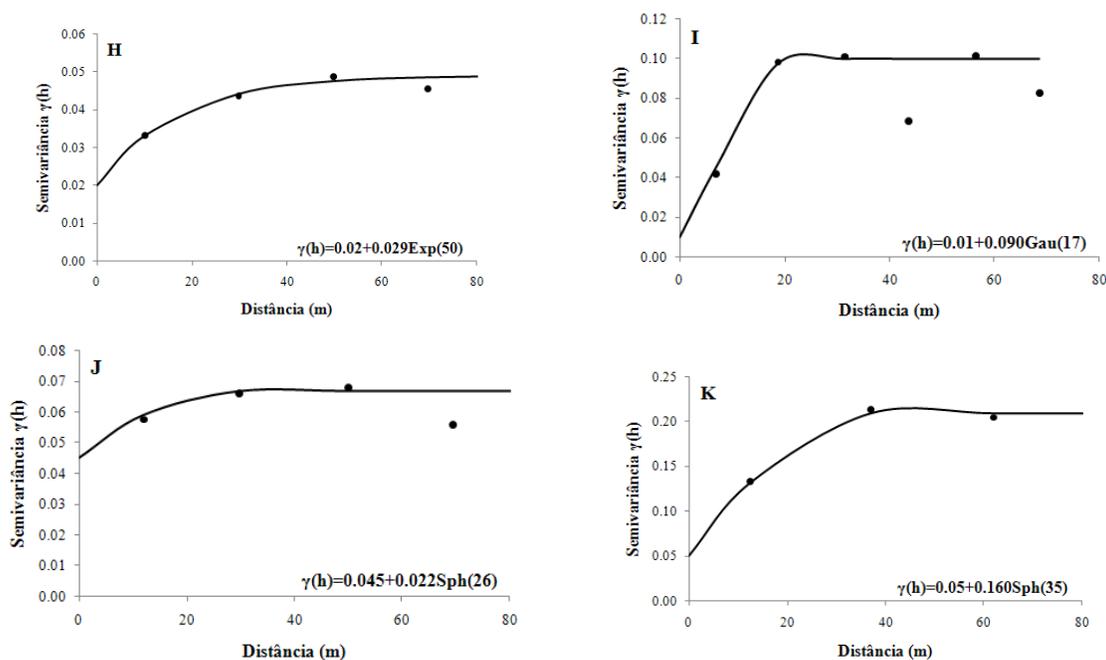


Figura 4.6 Semivariogramas da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de : H - Set/2001; I - Out/2001; J - Nov/2001 e K - Dez/2001.

4.2.3 Krigagem do Vetor Cigarrinha

A partir dos parâmetros dos semivariogramas foram realizadas a krigagem para estimar as interpolações necessárias à construção dos mapas de contornos da incidência do vetor Cigarrinha, onde as cores mais intensas indicam áreas que apresentam uma grande infestação da cigarrinha. Observa-se nas Figuras 4.4 A, B, C e D e a Figura 4.5 E e F, a distribuição espacial e temporal da doença no pomar. Já para as Figuras 4.5 E e G e a Figura 4.6 I e K, que representam as estações do outono, inverno, primavera e verão, respectivamente, apresentam as maiores infestações de cigarrinhas. Nas Figuras 4.5 F e H e a Figura 4.6 J, observa-se um decréscimo da infestação, devido ser um período de transição de uma estação para outra passando pelo inverno. Isso se dá porque a flutuação populacional é influenciada por fatores climáticos. Em viveiros cítricos, a população de cigarrinhas cresce no início do verão e no outono, declinando no inverno e na primavera.

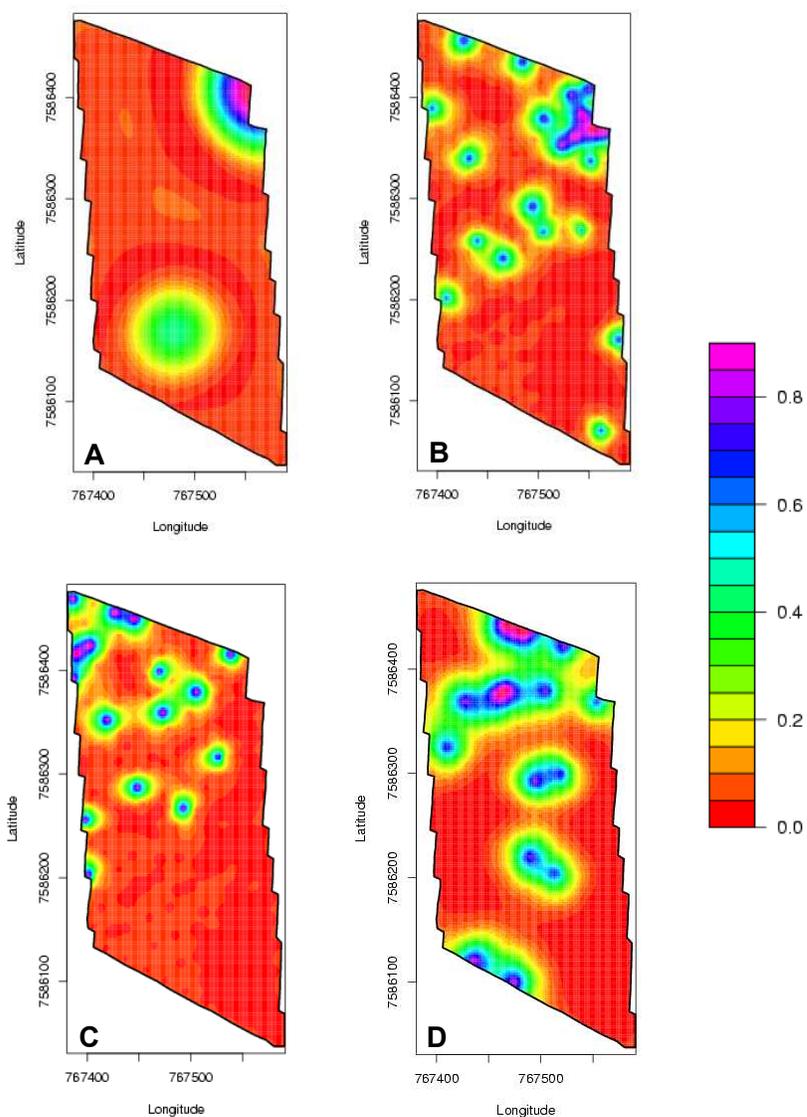


Figura 4.7 Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de: A - Out/2000; B - Nov/2000; C - Jan/2001 e D - Fev/2001.

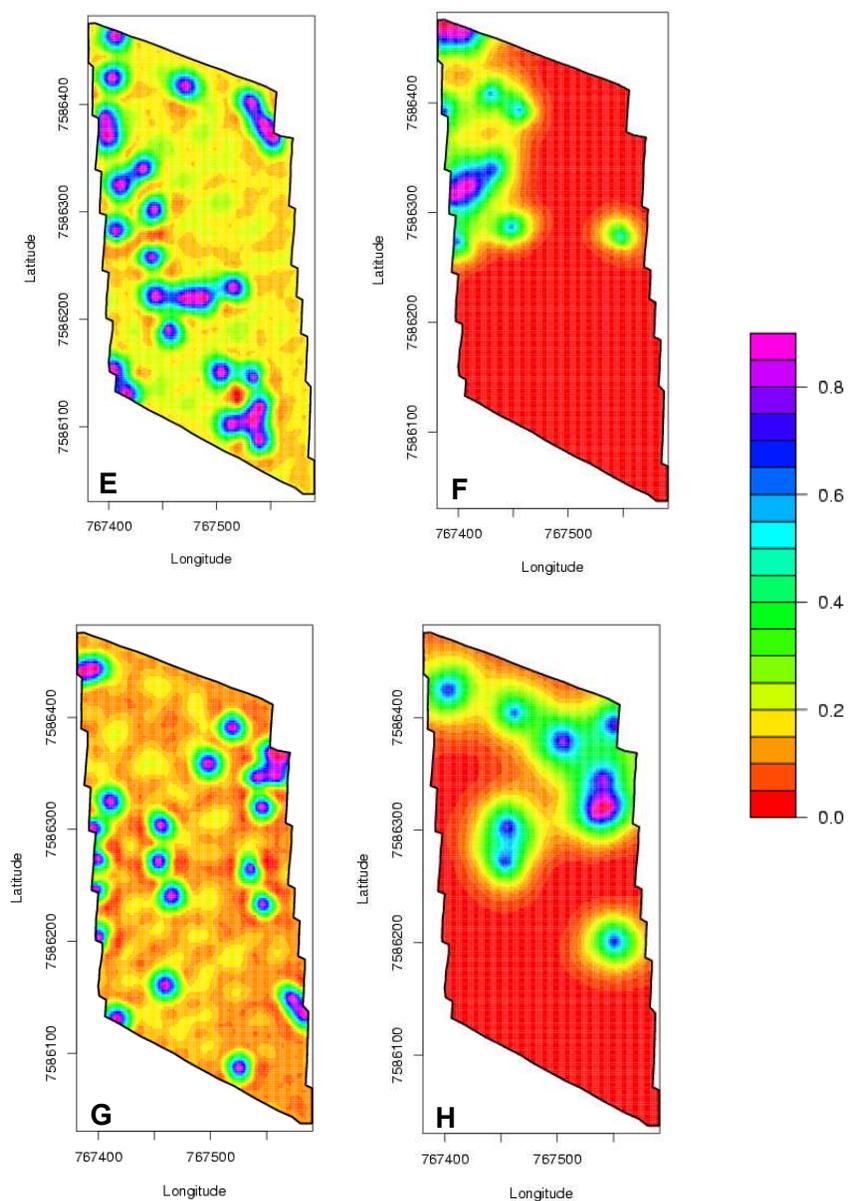


Figura 4.8 Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de : E - Mar/2001; F - Mai/2001; G- Ago/2001 e H - Set/2001.

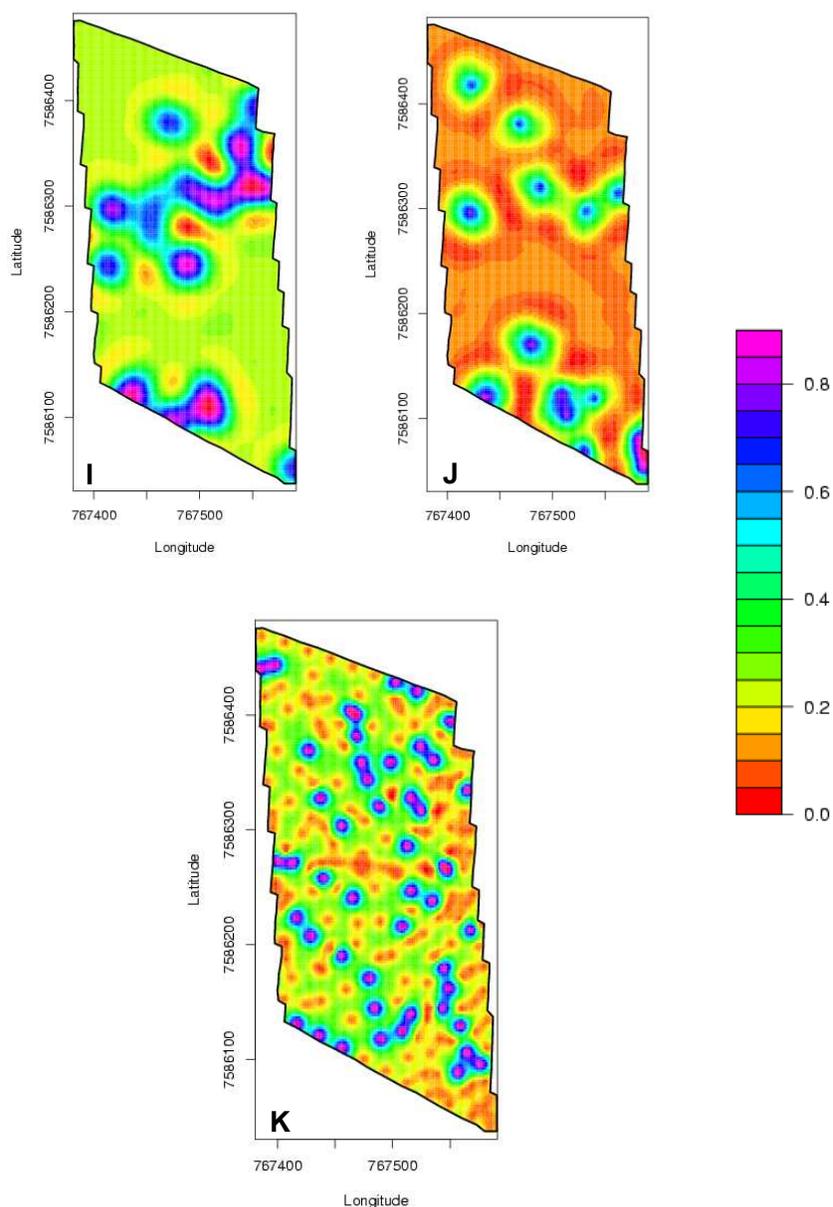


Figura 4.9 Mapas de Krigagem com os Valores Observados da Distribuição do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas da Fazenda Castanharo, nos Períodos de: I - Out/2001; J - Nov/2001 e K - Dez/2001.

4.3 Simulação Sequencial por Indicação

O procedimento de simulação sequencial por indicação foi aplicado, utilizando-se os conjuntos de dados referentes ao estudo, uma grade regular formada por 200 linhas x 200 colunas e os modelos teóricos de semivariogramas apresentados durante este trabalho. Este procedimento foi executado com a biblioteca *gstat* e *geoR*, do Aplicativo R 2.9 e foram geradas 100 realizações para os vetores *A. aegypti* e Cigarrinhas.

A Figura 4.10 A e B ilustra um exemplo de 20 realizações da variável incidência de larvas do vetor *A. aegypti* para o Bairro Trem, nos período seco (Figura 4.10 A) e período chuvoso (Figura 4.10 B) e a Figura 4.11 A e B ilustra um exemplo de 20 realizações da variável incidência de larvas do vetor *A. aegypti* para o Bairro Cidade Nova, nos período seco (Figura 4.11 A) e período chuvoso (Figura 4.11 B), ambas escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais. Utiliza-se para este procedimento o conjunto de dados originais, uma grade de 200 linhas e 200 colunas e os modelos teóricos de semivariogramas apresentados na Tabela 4.7. Onde, pode-se observar que as cores mais claras indicam áreas que apresentam presença de larvas desse vetor e as cores mais escuras apresentam a ausência de larvas.

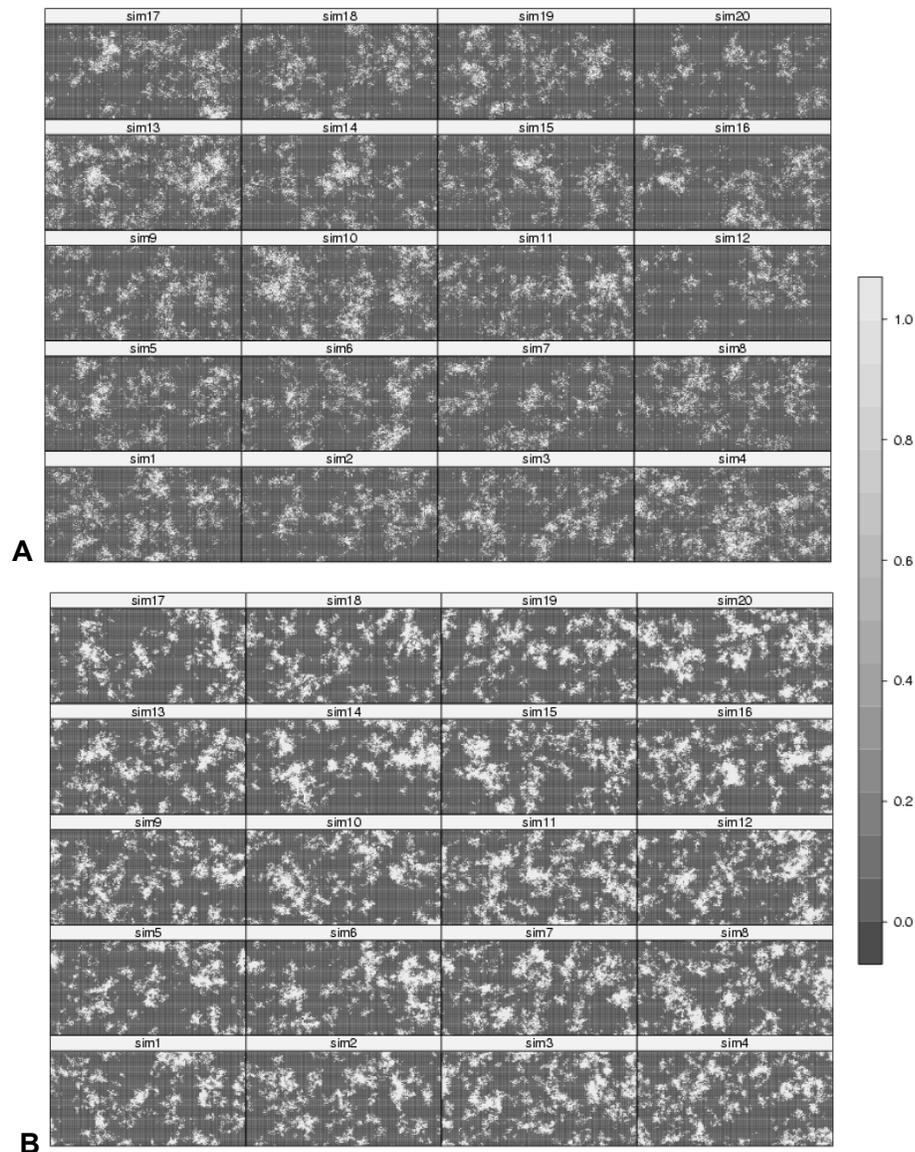


Figura 4.10 Mapas de 20 realizações da Incidência de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* para o Bairro Trem, nos Períodos: A - Seco (Out/2005) e B - Chuvoso (Fev/2006), escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais.

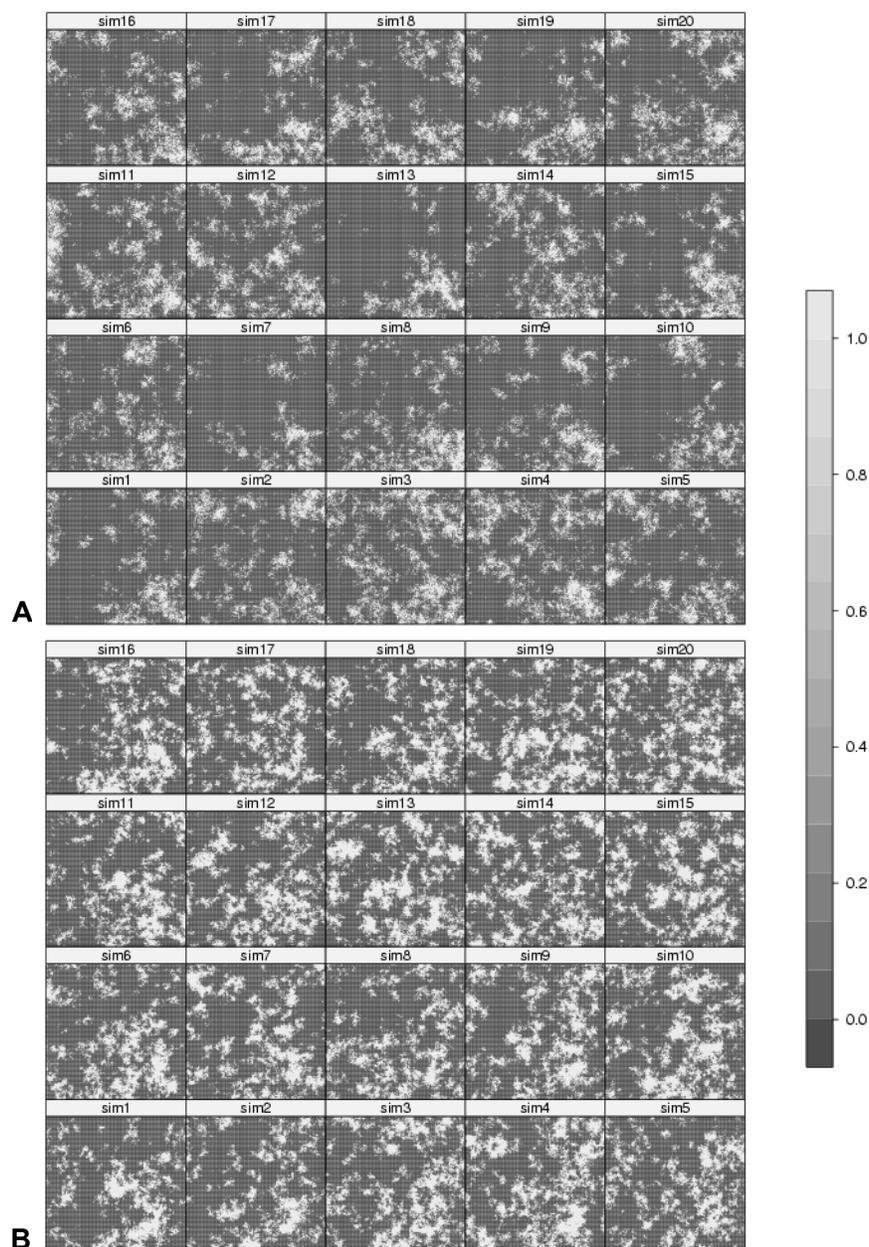
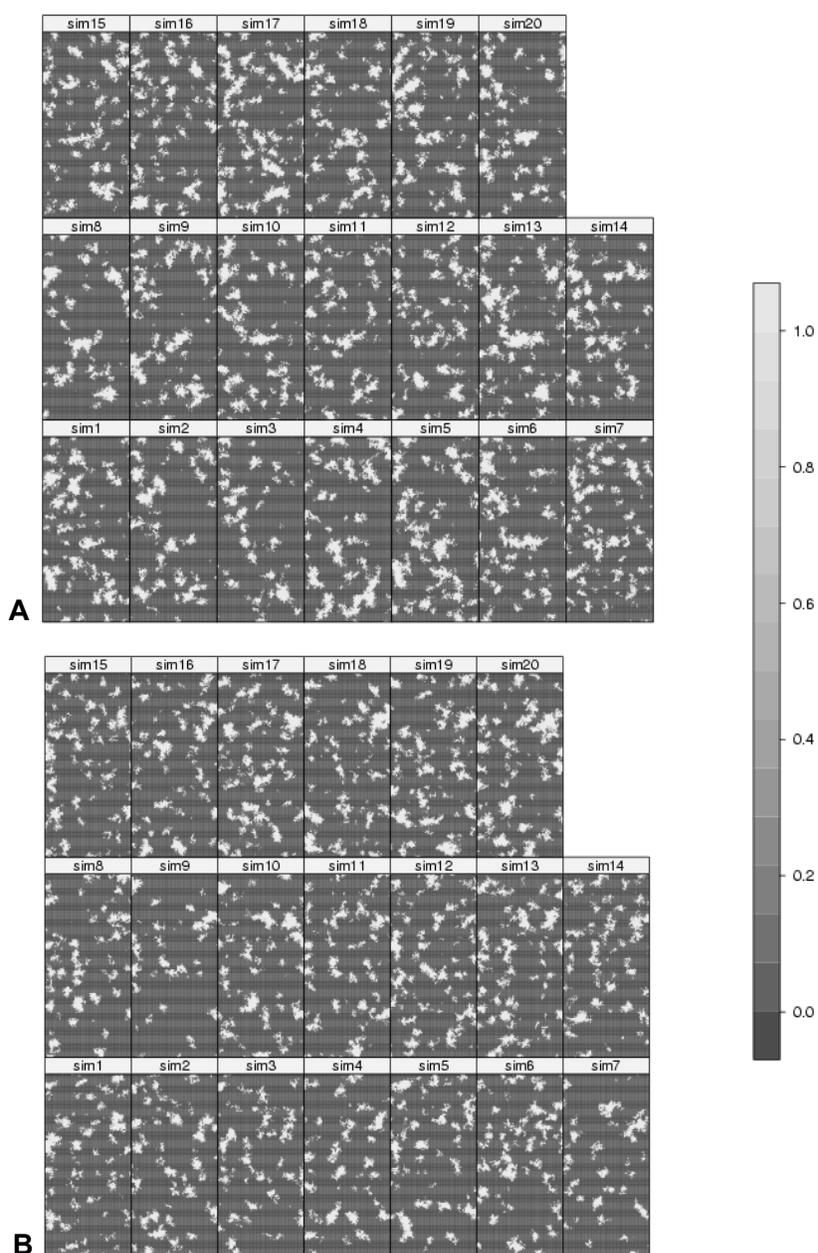


Figura 4.11 Mapas de 20 realizações da Incidência de Larvas do Vetor *Aedes aegypti* para o Bairro Cidade Nova, nos Períodos: A - Seco (Out/2005) e B - Chuvoso (Fev/2006), escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais.

A Figura 4.12 A, B, C, e D ilustra um exemplo de 20 realizações da variável incidência do vetor Cigarrinha em plantas cítricas, nos períodos Março de 2001, Agosto/2001, Outubro/2001 e Dezembro de 2001 (períodos com maior índice de infestação), escolhidas aleato-

riamente das 100 simulações condicionais. Para este procedimento utiliza-se o conjunto de dados originais do vetor Cigarrinha, uma grade de 200 linhas e 200 colunas e os modelos teóricos de semivariogramas apresentados na Tabela 4.7. Onde, pode-se observar que as cores mais claras indicam áreas que apresentam infestação do vetor Cigarrinha e as cores mais escuras apresentam áreas não infestadas por este vetor.



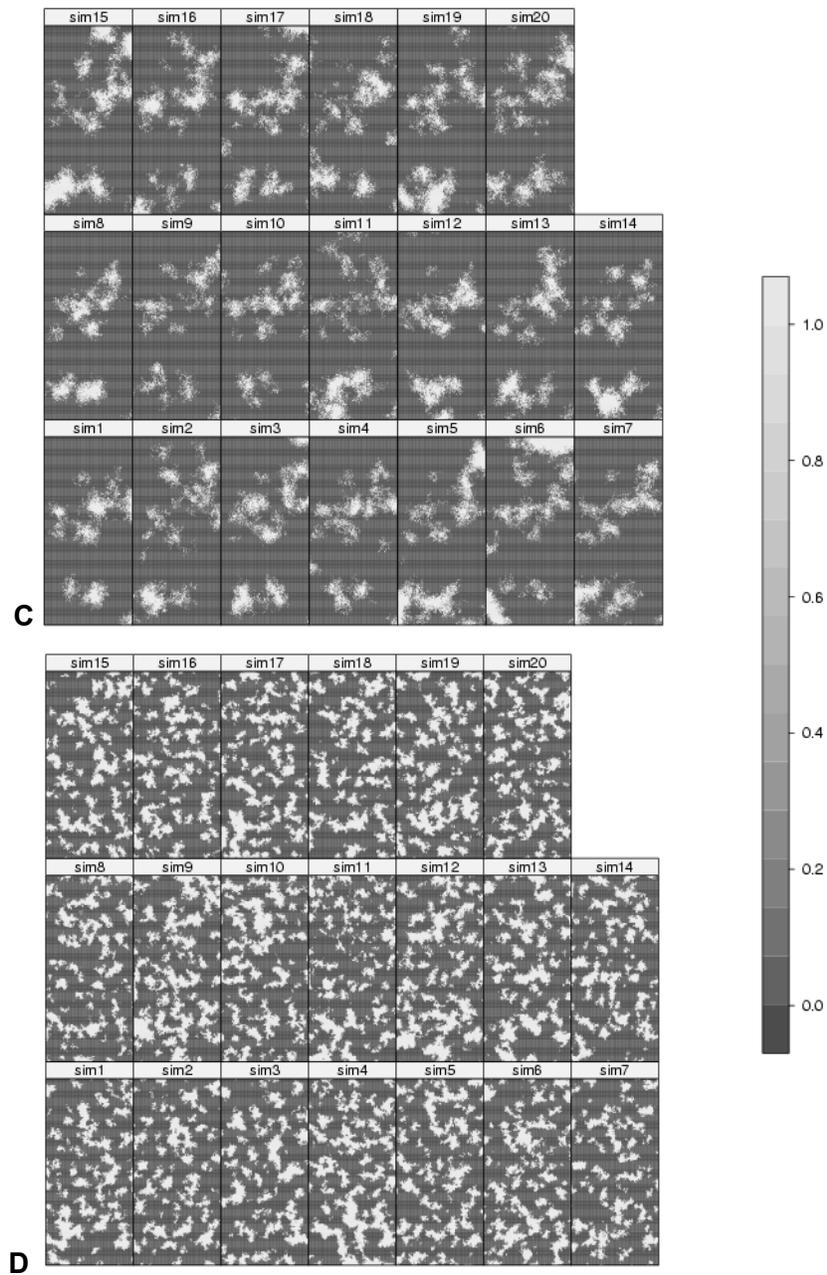
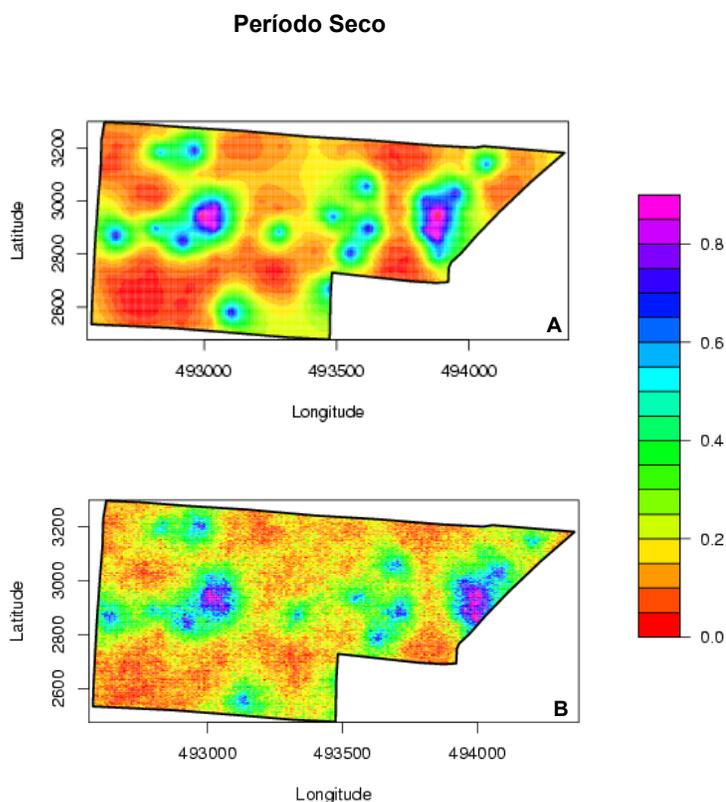


Figura 4.12 Mapas de 20 realizações da Incidência do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, nos Períodos : A - Mar/2001; B - Ago/2001; C - Out/2001; e D - Dez/2001, escolhidas aleatoriamente das 100 simulações condicionais.

4.3.1 Avaliação dos Métodos de Estimação

Para avaliar os métodos de estimação deste estudo, é utilizada a visualização de mapas geostatísticos e a partir das imagens são obtidas medidas como, a média (\bar{X}), o desvio (S) e o coeficiente de variação (CV) dos valores observados (VO) e dos estimados por krigagem indicativa ($KRIG$) e simulação condicional (SC). Para assim, avaliar e verificar qual o método é mais adequado para os estudos realizados.

A Figura 4.13 A e B apresenta o mapa da variável larvas do vetor *Aedes aegypti* estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, no bairro Trem para os períodos seco e chuvoso. Pela comparação visual dos mapas obtidos, observa-se que qualitativamente, os mapas das Figuras 4.13 A e 4.13 B apresentam resultados semelhantes, porém a diferença entre essas figuras está na superfície da região, enquanto a Figura 4.13 A produz a variação espacial mais suavizada que os valores reais a Figura 4.10 B representa melhor a variabilidade dos dados.



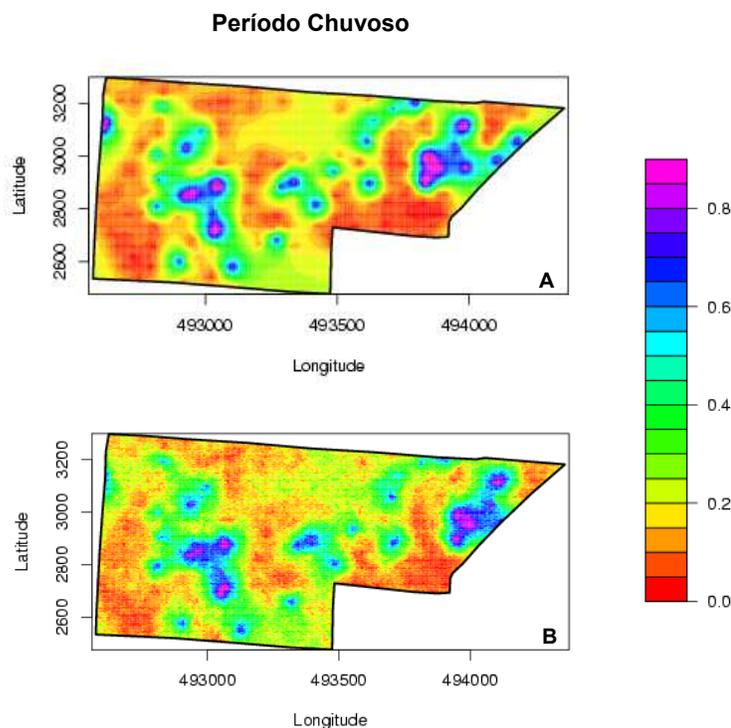


Figura 4.13 Mapas da Variável Larvas do Vetor *Aedes aegypti* Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), no Bairro Trem para os Períodos Seco e Chuvoso.

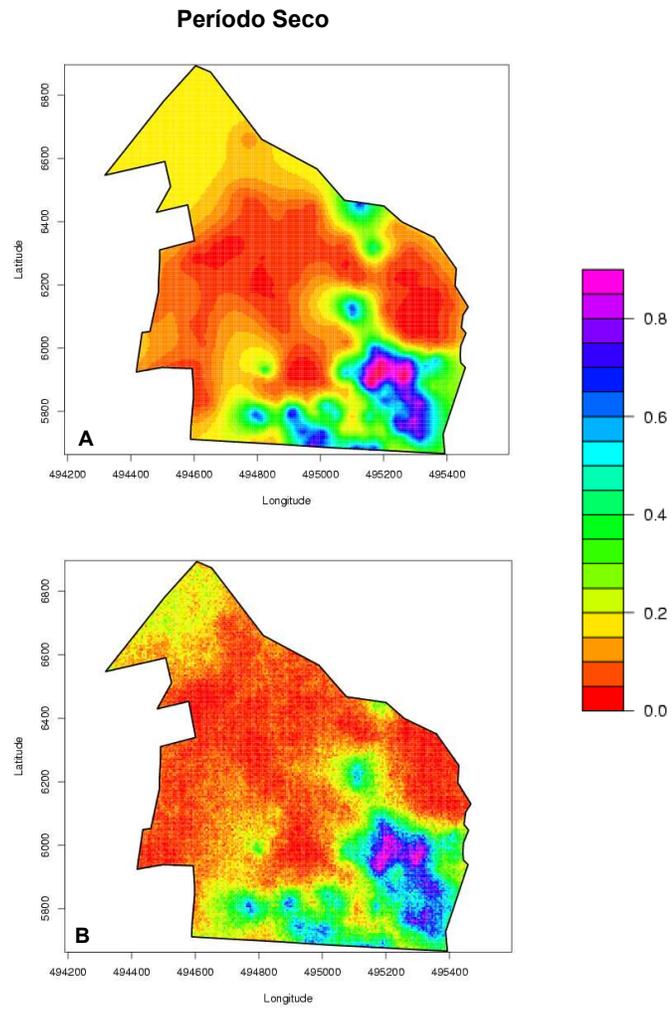
A Tabela 4.8 apresenta a \bar{X} , S e o CV dos valores observados e estimados por krigagem indicativa e simulação condicional utilizados na distribuição espacial do vetor *Aedes aegypti*, no Bairro Trem, para os períodos seco e chuvoso. Nela, observa-se que ao avaliar a média dos valores estimados por krigagem e simulação condicional com a média dos valores observados, o bairro Trem tanto no período seco quanto no período chuvoso, apresentou as médias dos estimadores aproximadamente iguais a dos valores observados. Logo, faz-se uma análise a partir do desvio dos valores observados, onde o desvio da estimação deve ser o mais próximo possível do desvio dos valores observados, assim observa-se que o desvio da simulação condicional para o período seco e chuvoso foi mais próximo dos valores observados. Em seguida, calcula-se o CV dos valores observados e dos estimados, nota-se que tanto para o período seco quanto chuvoso, o método de estimação por simulação foi o mais adequado para este estudo, pois apresenta o CV próximo ao CV dos valores observados.

Tabela 4.8 \bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor *Aedes aegypti*, no Bairro Trem, para os Períodos Seco e Chuvoso.

	Período Seco			Período Chuvoso		
	VO	KRIG	SC	VO	KRIG	SC
\bar{X}	0,1183	0,1111	0,1124	0,2043	0,2020	0,2019
S	0,3238	0,0595	0,3125	0,4043	0,1095	0,3998
CV	2,7371	0,5356	2,7802	1,9790	0,5421	1,9802

Nota: $CV = \frac{S}{\bar{X}}$, onde S: desvio; \bar{X} : média e CV: coeficiente de variação.

A Figura 4.14 A e B apresenta o mapa da variável larvas do vetor *Aedes aegypti* estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, no bairro Cidade Nova para os períodos seco e chuvoso. Pela comparação visual dos mapas obtidos, verifica-se que estas imagens apresentam apenas mudanças no que se refere a variabilidade dos dados. E qualitativamente, não há diferença entre os mapas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais.



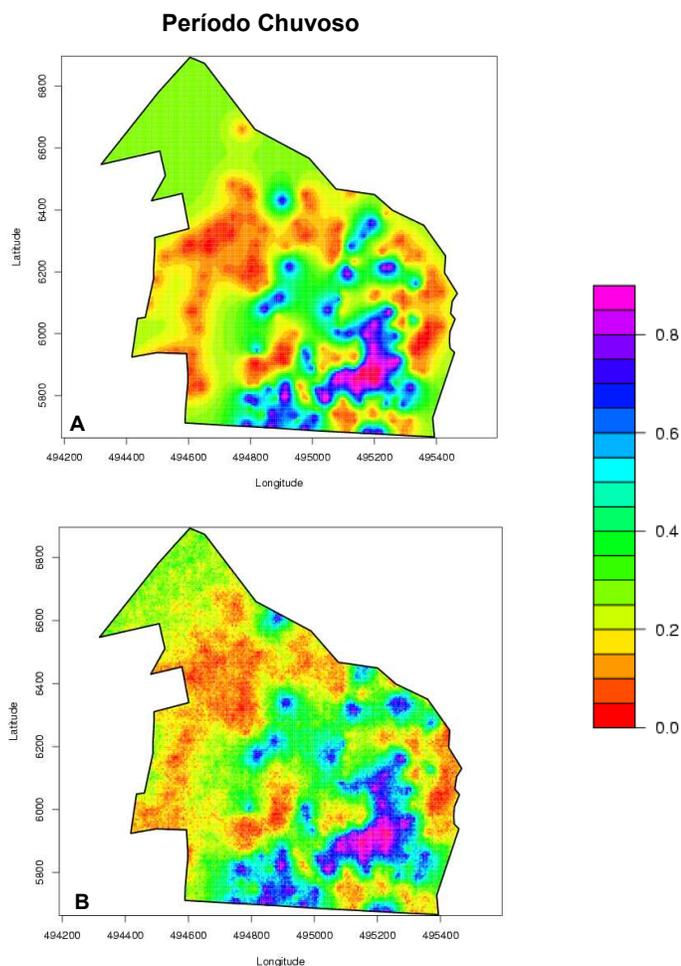


Figura 4.14 Mapas da Variável Larvas do Vetor *Aedes aegypti* Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), no Bairro Cidade Nova para os Períodos Seco e Chuvoso.

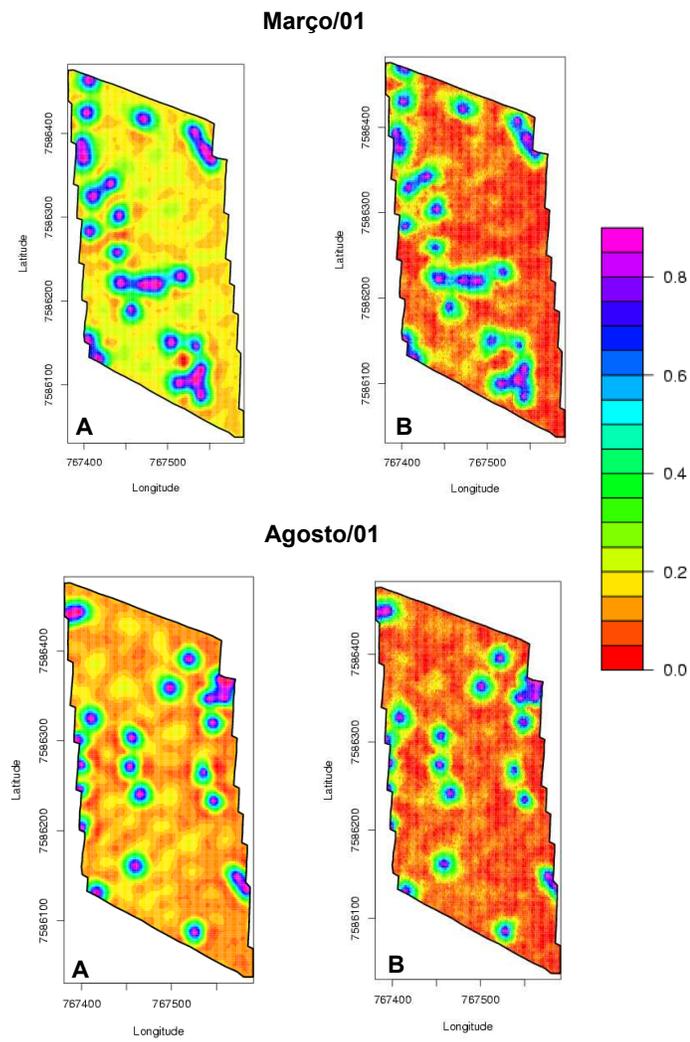
Observa-se a partir da Tabela 4.9, que apresenta os valores de \bar{X} , S e o CV dos valores observados e estimados por krigagem indicativa e simulação condicional usados na distribuição espacial do vetor *Aedes aegypti*, no Bairro Cidade Nova, para os períodos seco e chuvoso que \bar{X} da estimação por krigagem e por simulação condicional estão aproximadamente iguais, indicando assim que só a \bar{X} não é necessária para avaliar estes estimadores. Nota-se que para o bairro Cidade Nova, durante os dois períodos estudados, a estimação por simulação apresenta o melhor S em relação a estimação por krigagem indicativa. A partir do CV dos valores observados e estimados, verifica-se que a simulação condicional

foi o método mais adequado para o estudo realizado no bairro Cidade Nova para o período seco e chuvoso.

Tabela 4.9 \bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor *Aedes aegypti*, no Bairro Cidade Nova, para os Períodos Seco e Chuvoso.

	Período Seco			Período Chuvoso		
	VO	KRIG	SC	VO	KRIG	SC
\bar{X}	0,1697	0,1395	0,1354	0,2844	0,2588	0,2632
S	0,3763	0,0985	0,3398	0,4522	0,1169	0,4385
CV	2,2174	0,7061	2,5096	1,5900	0,4517	1,6728

A Figura 4.15 A e B apresenta o mapa da distribuição do vetor cigarrinha em plantas cítricas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, para os períodos de Março de 2001 a Dezembro de 2001 (períodos com maior índice de infestação desse vetor). Nela, tem-se que os mapas estimados por krigagem indicativa (Figura 4.10 A) durante os períodos com maior índice de infestação apresentam a superfície suavizada em relação aos mapas da média de 100 simulações condicionais. Pois, enquanto os valores estimados por krigagem indicativa tendem ajustar a média dos valores reais, a estimação por simulação reproduz melhor a variabilidade espacial do fenômeno estudado.



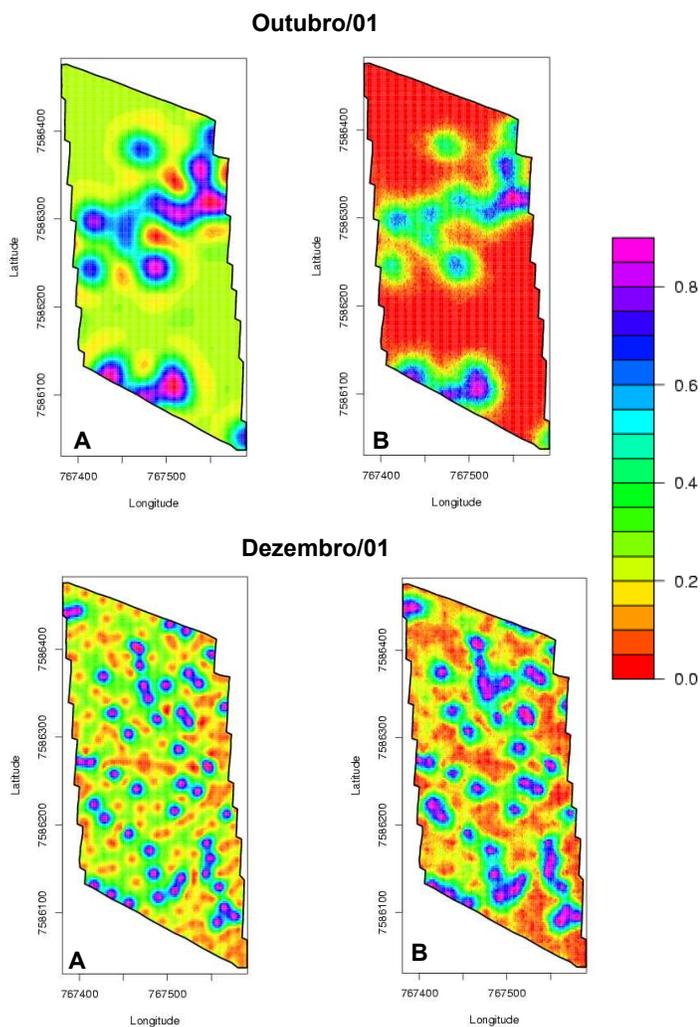


Figura 4.15 Mapas da Distribuição do Vetor Cigarreira em Plantas Cítricas Estimado por Krigagem Indicativa (A) e Média das 100 Simulações Condicionais (B), para os Períodos de Março de 2001 a Dezembro de 2001.

A Tabela 4.10, apresenta a \bar{X} , S e o CV dos valores observados e estimados por krigagem indicativa e simulação condicional usados na distribuição espacial do vetor cigarrinha em plantas cítricas, no período de Março de 2001 a Dezembro de 2001. Nela, verifica-se que a média da distribuição do vetor cigarrinhas para os períodos Mar/01, Ago/01, Out/01 e Dez/01 (VO), está aproximadamente igual a dos valores estimados por krigagem e simulação. Observa-se que para todos os períodos, o S e o CV da simulação em relação ao S e CV da krigagem, foi mais próximo do S e CV dos valores observados. Indicando assim, que o método de estimação mais adequado para a distribuição espacial de cigarrinhas em

plantas cítricas, durante os períodos de maior incidência de infestação foi o método de estimação por simulação condicional.

Tabela 4.10 \bar{X} , S e CV dos Valores Observados e Estimados por Krigagem Indicativa e Simulação Condicional Usados na Distribuição Espacial do Vetor Cigarrinha em Plantas Cítricas, no período de Março de 2001 a Dezembro de 2001.

	Mar/01			Ago/01		
	VO	KRIG	SC	VO	KRIG	SC
\bar{X}	0,1300	0,1401	0,1562	0,1200	0,1186	0,1335
S	0,3371	0,1514	0,3585	0,3258	0,1281	0,3389
CV	2,5931	1,0807	2,2951	2,7150	1,0801	2,5386
	Out/01			Dez/01		
	VO	KRIG	SC	VO	KRIG	SC
\bar{X}	0,0950	0,0863	0,1144	0,2450	0,2474	0,2658
S	0,2940	0,1559	0,3163	0,4312	0,1892	0,4411
CV	3,0947	1,8065	2,7649	1,7600	0,7648	1,6595

Capítulo 5

Considerações Finais e Recomendações

5.1 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a distribuição espacial de dados biológicos via krigagem e simulação condicional. Inicialmente, fez um estudo sobre os fenômenos biológicos, onde foi abordado sobre o vetor *Aedes aegypti*, transmissor do vírus da Dengue e sobre o vetor Cigarrinhas, transmissor da bactéria *Xylella fastidiosa*, causadora de doenças em plantações perenes, arbóreas, videiras, alfafas, cafeeiro, citrus, entre outras.

O estudo sobre o vetor *A. aegypti* foi realizado em dois bairros do município de Macapá-AP, bairro Trem e Cidade Nova, em dois períodos de coleta, divididos em período seco e período chuvoso. Observou-se a partir da análise exploratória que o maiores números de incidência de larvas, foram registrados para o período chuvoso; sendo o bairro Cidade Nova o que apresentou maior quantidade de larvas coletadas. Ao analisar-se os tipos de depósitos que foram encontradas larvas desse vetor no bairro do Trem, verificou-se que os depósitos móveis, fixos e removíveis teve a incidência de larvas aumentada no período chuvoso, com 100%, 116,67% e 50%, respectivamente. Já para o bairro Cidade Nova os depósitos fixos e fossa tiveram um aumento na incidência de larvas para o período chuvoso, com 375% e 181,82%, respectivamente. Para os depósitos de água, móveis e removíveis, houve um decréscimo na incidência de larvas para o período chuvoso de 71,43%, 25% e 7,69%, respectivamente.

Para a modelagem geoestatística, os períodos de coleta para o bairro Trem e Cidade Nova foram ajustado ao modelos exponencial, com um coeficiente de determinação maior que 0,97, com um alcance médio de aproximadamente 138 *m* e um efeito pepita relativo maior que 30%, indicando assim existência de aleatoriedade em ambas às amostras. A par-

tir dos parâmetros dos semivariogramas foi realizada a krigagem indicativa para estimar as interpolações necessárias à construção dos mapas de contornos da incidência de larvas do vetor *Aedes aegypti*. Observou-se que, no bairro trem a incidência de larvas tanto para o período seco como para o período chuvoso, apresentou um comportamento espacial com tendência de variabilidade regular, uma vez que a incidência de larvas nos dois períodos estudados foram semelhantes e aleatórias quanto à disposição no espaço. Já para o bairro Cidade Nova houve diferença entre a distribuição temporal da incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos dois períodos estudados.

Para analisar o vetor cigarrinha, observou-se que das 200 plantas cítricas amostradas da Fazenda Castanharo - SP, 64% apresentaram infestação, sendo os meses março de 2001 e dezembro de 2001 os meses de maior aumento, com 12,38% e 23,34%, respectivamente. Ao analisar os modelos ajustados para a incidência do vetor Cigarrinha, observa-se que todos os modelos estudados apresentaram um coeficiente de determinação acima de 0,94, correspondendo a um ótimo ajuste e baixa variabilidade das semivariâncias. A partir dos mapas de krigagem verifica-se que os meses Março/2001, Agosto/2001, Outubro/2001 e Dezembro/2001 referente as estações do outono, inverno, primavera e verão, respectivamente, apresentam as maiores infestações de cigarrinhas. E os meses maio de 2001, setembro de 2001 e novembro de 2001, apresentaram a menor infestação, isso ocorre devido o período de transição para o inverno.

O procedimento de simulação sequencial por indicação foi aplicado, utilizando-se os conjunto de dados em estudo, uma grade regular formada por 200 linhas x 200 colunas e os modelos teóricos de semivariogramas analisados. Este procedimento foi executado com a biblioteca *gstat* e *geoR*, do Aplicativo R 2.9 e foram geradas 100 realizações das variáveis estudadas. Para avaliar os métodos de estimação usados nos dados em estudo, utilizou-se a visualização de mapas geoestatísticos, onde tem-se os mapas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, bem como, a média, o desvio e o erro relativo dos valores observados e dos estimados por krigagem indicativa e simulação condicional. Para assim, avaliar e verificar qual o estimador é mais adequado para os estudos realizados neste trabalho.

Nota-se a partir dos mapas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simu-

lações condicionais para a incidência de larvas do vetor *A. aegypti*, no bairro Trem e Cidade Nova para os períodos seco e chuvoso, que para ambos estudos, os mapas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais apresentaram resultados semelhantes, porém a diferença entre essas figuras está na superfície da região, enquanto o mapa estimado por krigagem produz a variação espacial mais suavizada dos valores reais, o mapa da média das 100 simulações condicionais representa melhor a variabilidade dos dados. A partir das medidas estatística apresentadas, verifica-se que para a incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos bairros Trem e Cidade Nova nos períodos seco e chuvoso, as médias dos estimadores estão aproximadamente iguais a dos valores observados, indicando assim que só a média não pode afirmar qual o melhor método. Ao analisar o desvio dos estimadores a estimação por simulação apresenta o melhor desvio em relação a estimação por krigagem indicativa, pois este está próximo ao desvio dos valores observados. Porém, a partir do coeficiente de variação dos valores observados e estimados, conclui-se que o método mais adequado para o estudo realizado nos bairros Trem e Cidade Nova nos períodos seco e chuvoso foi o da simulação condicional, pois apresentou o coeficiente de variação melhor que o da krigagem indicativa quando comparado ao dos valores observados.

Ao se analisar o mapa da distribuição do vetor cigarrinha em plantas cítricas estimado por krigagem indicativa e a média das 100 simulações condicionais, para os períodos de Março de 2001 a Dezembro de 2001 (períodos com maior índice de infestação desse vetor), observa-se que os mapas estimados por krigagem indicativa durante os períodos com maior índice de infestação apresentaram a superfície suavizada em relação aos mapas da média de 100 simulações condicionais. Pois, enquanto os valores estimados por krigagem indicativa tendeu a ajustar a média dos valores reais, a estimação por simulação reproduziu melhor a variabilidade espacial desse fenômeno. A partir das medidas descritivas apresentadas, verifica-se que a média da distribuição do vetor cigarrinhas para os períodos Mar/01, Ago/01, Out/01 e Dez/01, está aproximadamente igual a dos valores estimados por krigagem e simulação. Nota-se também, que para todos os períodos em estudo, o desvio e o coeficiente de variação da simulação condicional em relação ao desvio e o coeficiente de variação da krigagem indicativa, foi mais próximo do desvio e do coeficiente de variação dos valores observados. Indicando assim, que o método de estimação mais adequado para

a distribuição espacial de cigarrinhas em plantas cítricas, durante os períodos de maior incidência de infestação foi o método de estimação por simulação condicional.

A utilização da geoestatística como ferramenta de análise, facilitou a visualização e identificação de áreas com risco elevado de ocorrência de focos positivos de larvas do vetor *A. aegypti* e incidência de cigarrinhas em plantas cítricas, bem como a avaliação de risco em torno de uma situação que favoreça a proliferação das espécies estudadas. A partir do estudo feito sobre incidência de larvas do vetor *A. aegypti* nos dois bairros de Macapá, observou-se que as principais diferenças encontradas nestes bairros estão relacionadas às características socioeconômicas e ambientais. A visualização dos cenários facilitou a identificação de áreas com risco elevado de ocorrência em torno de determinados fatores, tais como, ambientais, sociais e culturais. Com isso, espera-se que sejam estabelecidas e otimizadas medidas de controle e novas ações por parte dos órgãos competentes.

Para o estudo realizado sobre incidência do vetor cigarrinha em plantas cítricas, verificou-se que conhecimento da distribuição espacial do inseto é de fundamental importância para estabelecer os melhores critérios de amostragem e determinar com maior eficiência a tomada de decisão do controle, proporcionando um alto nível de precisão e com o menor custo possível. E assim, estabelecer novas técnicas de manejo ou melhorar as técnicas atualmente em uso para o controle de doenças causadas por *X. fastidiosa* em plantações perenes, arbóreas, videiras, alfafas, cafeeiro, citrus, entre outras. Mais especificadamente neste estudo, estabelecer novas técnicas de manejo para o controle de doenças em plantas cítricas, visando a otimização do processo de tomada de decisão.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se destacar:

- Utilizar a Krigagem e a Simulação Condicional para estudar a distribuição espacial dos criadouros do *A. aegypti* e relacioná-los com os focos positivos de larvas desse vetor, assim como relacionar a distribuição espacial de doenças causadas por *X. fastidiosa* e seu vetor cigarrinha;
- Modelar a covariância conjunta das variáveis relacionadas na modelagem espacial, a

partir do procedimento de co-krigagem e avaliar o desempenho desta opção para a simulação conjunta;

- Integrar procedimentos geoestatísticos em planejamento de outras áreas como saúde, ambiente, geologia, agronomia, entre outras.

APÊNDICE

Grupo	Tipos de Recipientes/depósito	Ação Preconizada
Grupo A Armazenamento de água p/ consumo Humano	Depósito d'água elevado ligada à rede pública e/ou sistema de captação mecânica em novo sistema ru	Proverenciar cobe/bura ou vedação; tratar como última alternativa
	Depósitos ao nível do solo para armazenamento doméstico: tonel, tambor, barril, tina.	Proverenciar cobe/bura ou vedação; se indispensáveis, proteger/lavar, caso
Grupo B Depósitos móveis	Vasos/frascos com água, prato, garrafas, pingadeira, recipientes de gelo em geladeiras, bebedouros em geral, pequenas	Visitar/lavar com frequência; proteger, colocar areia, emborcar; não tratar
Grupo C Depósitos fixos	Tanques em obras, berracharias e tortas, calhas, lages e toldos em des'níveis, ralos, sanitários em desuso, piscinas não tratadas, floreiras/vasos em cerméticos; cacos de	Consertar calhas/lages e toldos, vedar sanitários e ralos em desuso, lavar com frequência; proteger; preencher com areia; tratar em última alternativa
Grupo D passíveis de remoção/proteção	Pneus e outros materiais vulcânicos	Encaminhar para descarte adequado; se indispensáveis, proteger. Tratar como última
	Lixo (recipientes plásticos, garrafas, latas) e sucatas em pátios e terra velha	Lixo/antulho: encaminhar para destino adequado, não tratar; sucatas em PE e pátios, se indispensáveis, protegê-las
Grupo E Naturais	Axilas de folhas (bromélias, etc), buracos em árvores e em rochas, restos de	Instruir para evitar acúmulo de água em folhas. Tampar buracos. Encaminhar para destino
Grupo F	Fossas	Conexão das fossas e/ou construção de acordo com norma técnica. Não Tratar.

Fonte: Brasil, 2005

Figura 1 Moldes Estabelecidos para o Levantamento de Índice Rápido para *A. aegypti*, Preconizado pelo PNCD/MS.

Bibliografia

- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Dengue: instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas**. Brasília: MS, 2001. 84 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Guia de Vigilância Epidemiológica**. Brasília: MS, 2002. 842 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Boletim SVS**. Disponível em: Ministério da Saúde-<<http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/boletimguedez2006.pdf>>. Acessado em 15 de fevereiro 2008.
- BORROR, D.J. e DELONG, D.M. **Estudo dos Insetos**. São Paulo. 1969.563p.
- BURGESS, T.M., WEBSTER, R. **Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties**. The semivariogram and punctual kriging. The Journal of Soil Science, n.31, p.315-31, 1980.
- CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. São José dos Campos, 1997. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CAMARGO, E. C. G. **Distribuição espacial do risco associado a eventos raros por geoestatística binominal e simulação condicionada**. 2007-03-29. 148 p. (INPE- 14800-TDI/1243). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.
- CASTILHO, H.J. **Estudo da distribuição espacial de cupins subterrâneos através da Geoestatística em área de cultivo de cana-de-açúcar**. São Carlos, 1998. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade de São Paulo.
- CLARK, I. **The semivariogram - Part I**. Eng. e Min. J., 180(7):90-94, 1979.
- CONSOLI, A.G.B.R. e OLIVEIRA, R.L. de. **Principais Mosquitos de Importância Sanitária no Brasil**. Rio de Janeiro. Fio Cruz. 1994. 228p.
- DEGALLIER, N.; SÁ FILHO, G.C. **Os mosquitos (Díptera, Culicidae): generalidades Classificação e importância vetorial**. Brasília, DF, 2000. 74p.
- DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**. New York: Oxford University Press, 1998. 483p.

- DINIZ, R.A.V. **A aplicação da metodologia geoestatística para a classificação geomecânica de uma camada da “hangwall” na mina São Bento.** São Paulo. 1997. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DIVEP- Divisão de Vigilância Epidemiológica /SEMSA/PMM. **Casos de dengue por bairro.** Macapá. MS, 2007.
- DONALISIO, M.R.D. **O Dengue no Espaço Habitado.** São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo, 2002.
- FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L. C. C. B. **Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated under crop rotation.** Russian Journal of Nematology, *v.10, p.1-9, 2002a.*
- FARIAS, P. R. S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLIS-DELFIN, J. **Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: economic implications.** Journal of Nematology, Orlando, *v.34, p.232-238, 2002b.*
- FARIAS, P. R. S.; ROBERTO, S. R.; LOPES, J. R. S.; PERECIN, D. **Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus.** Neotropical Entomology, *v.33, n.1, p.13-20, 2004.*
- FELGUEIRAS, C.A. **Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em Sistemas de Informação Geográfica: O Paradigma Geoestatístico por Indicação.** São José dos Campos, 1999. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- FONSECA, W. S. **Contribuição da simulação de monte carlo na projeção de cenários para gestão de custos na área de laticínios.** Itajubá, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá.
- FORATTINI, O.P. **Culicidologia Médica: Identificação, Biologia, e Epidemiologia.** V. 2. São Paulo: Edusp, 2002. 860p. 860p.
- FUNDECITRUS - **Fundo de defesa da citricultura.** 1999. **Principais doenças e pragas.** <<http://www.fundecitrus.com.br/doencas/dpragas.br.html>> Acesso em: 12 de novembro de 2008.
- FUNDECITRUS. **Manual de CVC - Como Obter Sucesso no Manejo da Doença.** 4. ed. Araraquara, 2000. 15p.
- GADELHA, D.P. e TODA, A.T. **Biologia e comportamento do *Aedes aegypti*.** Revista Brasileira de Malariologia e Doenças Tropicais, *37: 29-36. 1985.*
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation.** New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.
- GUBLER, D. J. **Dengue in: Monath T.P, The arbovirose: Epidemiology and ecology.**

- Boca Raton: CRC. 2: 223-260, 1998a.
- GUBLER, D.J. **Dengue and dengue hemorrhagic fever**. Clinical Microbiology Reviews, 1: 480-496, 1998b.
- GUERRA, P.A.G. **Geoestatística Operacional**. Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.
- HOPKINS, D.L. **Xylella fastidiosa: xylem-limited bacterial pathogen of plantas**. Annual Review of Phytopathology, v. 27, p. 271-290, 1989.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e estatística [on line] 2000. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 15 de dezembro de 2008.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.
- JOURNAL, A.G. **Geostatistic for environmental sciences**. Las Vegas: Report of United States Environmental Protection Agency, 1988.
- JOURNAL, A. G.; HUIJBREBTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.
- KRÜGNER, R.; LOPES, M.T.V.C.; SANTOS, J.S.; BERETTA, M.J.G.; LOPES, J.R.S. **Transmission efficiency PF Xylella fastidiosa by sharpshooters and identification of two new vector species**. In: Conference of the International Organization of Citrus Virologists, 14., Campinas, 1998. Programme and abstracts. Codeirópolis: IAC, p. 81, 1998.
- KRIGE, D.G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. Johannesburg, 1951. (Thesis, Magister Science Engineering), University of the Witwatersrand.
- KUNO, G. **Review of the Factors Modulating Dengue Transmission**. Epidemiology Revista. 17 (2): 321-325, 1995.
- LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão. Ed. Agropecuária, 2001, 118p.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226p.
- LANDIM, P.M.B.; STUTARO, J.R.; MONTEIRO, R.C.; **Krigagem Ordinária para Situações com Tendência Regionalizada**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 12 p. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 08 de dezembro de 2008.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: UNESP, 2003.
- LEITE, R.M.V.B.C.; LEITE JÚNIOR, R.P.; CERESINI, P.C. **Hospedeiros Alternativos de Xylella fastidiosa entre plantas invasoras de pomares de ameixeira com escadadura da folha**. Fitopatologia Brasileira, v.22, n.1, p. 54-57, 1997.

- LEITE, B.; ISHIDA, M.I.; ALVES, E.; CARRER, H.; PASCHOLATI, S.F.; KITAJIMA, E.W. **Genomic and X-ray Microanalysis Indicate That Ca²⁺ and Thiols Mediate the Aggregation and Adhesion of *Xylella fastidiosa***. Brazilian Journal of Medical of Biological Research. v. 35, n. 6, p. 645-650, 2002.
- LOIOLA, C. C. P. Ministério da Saúde. OPS/OMS. **Dengue nas Américas**. Brasília: MS, 1998. p. 47-56.
- LOPES, J.R.S. **Mecanismos de Transmissão de *Xylella fastidiosa* por Cigarrinhas**. Laranja, Cordeirópolis, v.17, n.1, p. 79-92, 1996.
- MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. Economic Geology, n.5, p.1246-66, 1963.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. **Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sample estimates**. Journal of Soil Science, v.37, p.617-39, 1986.
- MCKNIGHT, T.L.; HESS, D. **Climate Zones and Types: The Köppen System. Physical Geography: A Landscape Appreciation**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, p.200-201, 2000.
- MORAIS, P. D.; MORAIS, J. D. **O Amapá em perspectiva: uma abordagem histórico-geográfica**. Macapá: Ed Gráfica, 2005.
- NATAL, D. **Bioecologia do *Aedes aegypti***. Biológico, São Paulo, 64 (2): 205-207, 2002.
- NIELSON, M.W. Leafhoppers Systematics. In: NAULT, L.R.; RODRIGUEZ, J.G. (Ed.). The Leafhoppers and planthoppers. New York; John Wiley, 1985. cap. 2, p. 11-39.
- NOGUEIRA, R.M.R.; MIAGOSTOVICH, M.P.; FILIPPIS, A.M.D.; PEREIRA, M.A.S. e SCHATZMAYR, H.G. **Dengue vírus type 3 in Rio de Janeiro, Brasil**. Memorial do Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 96: p. 925-926, 2001.
- OSANAI, C.H.; ROSA, A.P.A.T.; TANG, A.T.; AMARAL, R.S.; PASSOS, A.D.C.; TAUIL, P.L. **Surto de dengue em Boa Vista, Roraima**. Revista do Instituto de Medicina Tropical, 33: 158-165, 1983.
- PAIVA, P.E.B.; SILVA, J.L.; GRAVENA, S.; YAMAMOTO, P.T. **Cigarrinhas de Xilema em Pomares de Laranja do Estado de São Paulo**. Laranja, Cordeirópolis, v.17, n.1, p.41-54, 1996.
- PONTES, R.J.S.; RUFFINO- NETO, A. **Dengue in urban locality of Southeastern, Brazil: epidemiological aspects**. Revista de Saúde Pública, v.28. n.3, p.218-227, Junho,1994.
- URCELL, A.H. **Leafhopper vectors of xylem-borne plant pathogens**. In: MARAMOROSCH, K.; HARRIS, K.F. (Ed.). Leafhopper vectors and plant disease agents, cap.19, p.603-625. New York: Academic Press, 1979.
- PURCELL, A.H.; FINLAY, A.H. **Evidence for noncirculative transmission of Pierce's disease bacterium by sharpshooter leafhoppers**. Phytopathology, v.69, p.393-395, 1979.
- PURCELL, A.H. **Homopteran transmission of xylem-inhabiting bacteria**. In: HARRIS,

- K.F. (Ed.). *Advances in Disease Vector Research*, v.6, cap.9, p.243-266. New York: Springer-Verlag, 1989.
- PURCELL, A.H., HOPKINS, D. L. **Fastidious xylem-limited bacterial plant pathogens**. *Annual Review Phatopathology*, v.34, p.131-151, 1996.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; PARADELA FILHO, O.; CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. **Aspectos Estruturais de Cafeeiro Infectado com *Xylella fastidiosa***. *Bragantia*, v.57, n.1, p.23-33, 1998.
- RAJU, B.C.; WELLS, J.M. **Diseases Caused by fastidious xylem-limited bacteria**. *Plant Disease*, v.70, n.3, p.182-186, 1986.
- ROBERTO, S.R.; DALLA PRIA JÚNIOR, W.; YAMAMOTO, P.T.; FELLIPE, M.R.; FREITAS, E.P. **Espécies e flutuação populacional de cigarrinhas em viveiro de citros, em Gavião Peixoto (SP)**. *Laranja*, v.21, n.1, p.65-79, 2000.
- ROCHA, J. A. M. e MASCARENHAS, B. M. “**Observações sobre a atividade diária de mosquitos (Diptera: Culicidae) nos Arredores de Belém, Pará, Brasil**”. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série. Zoologia*, 10 (2) 225 - 233. 1994.
- ROCHA, J. A. M. **Os Mosquitos (Diptera: Culicidae) da Estação Científica Ferreira Penna - ECFPn, Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brasil: Ataque, Sazonalidade e Estratificação Arbórea**. Belém, 1996. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal do Pará. 129p.
- ROYLE, A.G. **How to use geostatistics for ore reserves classifications**. *Word Mining*, p.52-56, 1977.
- SANTOS, S. L. **Avaliação das Ações de Controle da Dengue: Aspectos Críticos e Percepção da População**. Recife, 2003.
- SCHATZMAYR, H. G. **Aspectos Históricos da Dengue e de Seus Vetores**. In: *Dengue: diagnóstico, tratamento e prevenção*. Souza, L. J. de (Ed.) Rubio, Rio de Janeiro: 2007.
- SELLERA, P.E.G. **Dengue no mundo**. In: **Informes em Saúde Pública: Simpósio Sobre Dengue**. Gomes, A. C. (ed). São Paulo, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, p. 57-62, 1999.
- SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, 1988. Tese (Doutorado em Agricultura)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, 1992. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, L.C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. Campina Grande, 1999. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba.
- SOUZA, L. J. de. **Dengue: diagnóstico, tratamento e prevenção**. Rio de Janeiro: 2007.

- STURARO, J.R. **Mapeamento geoestatístico de propriedades geológicas - geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento**. São Carlos. 1994. Tese (Doutorado em Geoestatística), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- UZUMAKI, E.T. **Geoestatística multivariada: estudo de métodos de predição**. Campinas, 1994. Dissertação (Mestrado em Estatística), Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- YAMANOTO, P.T.; GRAVENA, S. **Espécies e Abundância de Cigarrinhas e Psilídeos (Homóptera) em Pomares Cítricos**. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, *v.29, n.1, p. 169-176*, 2000.
- YOUNG, D.A. **Taxonomic Study of the Cicadellinae**. Parte 1, Proconnini. Washington: United States National Museum, 1968. 287p.
- VALENTE, J. M. G. P. **Geomatemática - lições de geoestatística**. 2.ed. Ouro Preto: Fundação Gorceix. *v.8, 2.210p*, 1988.
- VANN, J.; Bertoli, O.; Jackson, S. **An Overview of Geostatistical Simulation for Quantifying Risk**. In: Association of Australasia symposium "Quantifying Risk and Error" March, 2002.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. *p.1-54*, 2000.