

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTATÍSTICA ESPACIAL E REDES NEURAIS APLICADAS
NO ESTUDO DE EPIDEMIAS DE HUANGLONGBING E
MANCHA PRETA NA CULTURA DOS CITROS**

André Gustavo de Andrade

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2008

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTATÍSTICA ESPACIAL E REDES NEURAIS APLICADAS
NO ESTUDO DE EPIDEMIAS DE HUANGLONGBING E
MANCHA PRETA NA CULTURA DOS CITROS**

André Gustavo de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Antonio de Goes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2008

A553e Andrade, André Gustavo de
Estatística espacial e redes neurais aplicadas no estudo de
epidemias de huanglongbing e mancha preta na cultura dos citros /
André Gustavo de Andrade. – Jaboticabal, 2008
xiv, 94 f. : Il. ; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: Antonio de Goes
Banca examinadora: Margarete Camargo, Gener Tadeu Pereira,
Renato Beozzo Bassanezi, Edson Luiz Furtado
Bibliografia

1. Modelagem matemática. 2. Inteligência artificial. 3. *Candidatus*
Liberibacter spp. 4. *Guignardia citricarpa*. 5. Alinhamento de plantio. I.
Título. II. Jaboticabal -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.4:634.31

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento de Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDRÉ GUSTAVO DE ANDRADE - Nascido em 13 de outubro de 1977, em Jaboticabal/SP, filho de Antonio de Andrade e Maria Lucia Teresinha Grotta, é Engenheiro Agrônomo e Mestre formado pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – UNESP – Câmpus de Jaboticabal. Atualmente exerce função de Engenheiro Sênior na Citrovita Agropecuária Ltda.

DEDICATÓRIA

A minha família

Meus pais “Maria Lucia Teresinha Grotta” e “Antonio de Andrade”, meu irmão “Marco Aurélio de Andrade” e minha noiva “Ana Carolina Constantino”, a quem devo tudo que sou, minha educação, persistência e autoconfiança. Por me ensinarem que a vida é repleta de desafios a serem superados a cada dia, sem jamais desistir.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr Antonio de Goes, pela sua amizade e entusiasmo no trabalho, refletidos sob forma de orientação, espírito de luta, fé, perseverança e acima de tudo, no cultivo das amizades;

Aos amigos Eliana, Andressa, Thais, Roberta, Pimenta, Marcelo, Elton, Fernanda, Ester e outros tantos mais, meus sinceros agradecimentos pela ajuda no trabalho e ela alegre e saudável convivência nestes anos;

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade da FCAV/UNESP;

Ao Fundecitrus e ao IBGE pelo fornecimento das bases de dados necessárias para o desenvolvimento deste trabalho e às empresas que forneceram as áreas para instalação dos campos experimentais;

A Citrovita Agropecuária por me fornecer condições para a continuidade de meus estudos.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. Motivação	1
1.2. Huanglongbing.....	2
1.2.1. Introdução.....	2
1.2.2. Disseminação	4
1.2.3. Epidemiologia	5
1.2.4. Controle	6
1.3. Mancha preta dos citros.....	7
1.3.1. Introdução.....	7
1.3.2. Epidemiologia da mancha preta dos citros	8
1.4. Redes neurais.....	9
1.4.1. Introdução.....	9
1.4.2. Histórico.....	11
1.4.3. Perceptron de múltiplas camadas	13
1.4.4. Algoritmo da retro-propagação do erro.....	14
1.4.5. Algoritmo da propagação elástica do erro (RPROP)	16
1.5. Geoestatística	17
1.5.1. Semivariogramas.....	19
1.5.2. Krigagem	22
CAPÍTULO 2 - ESTUDO DA INCIDÊNCIA DE HUANGLONGBING POR MEIO DE FERRAMENTAS GEOESTATÍSTICAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	24
2.1. Resumo	24
2.2. Introdução.....	25
2.3. Material e métodos	25
2.3.1. Bases de dados.....	25
2.3.2. Geoestatística.....	27
2.3.2.1. Modelagem dos semivariogramas.....	27
2.3.2.2. Krigagem	29
2.3.3. Redes neurais	29
2.3.4. Validação cruzada	31
2.3.5. Estatística zonal	32
2.3.6. Previsão.....	34
2.4. Resultados e discussão	34
2.4.1. Semivariograma	34

2.4.2. Krigagem e redes Neurais	38
2.4.3. Validação cruzada	55
2.4.4. Estatística zonal	55
2.4.5. Previsão.....	57
2.5. Conclusões	62
CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DO ALINHAMENTO DE PLANTIO NA SEVERIDADE DA MANCHA PRETA DOS CITROS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO SUCO	63
3.1. Resumo	63
3.2. Introdução.....	64
3.3. Material e métodos	65
3.4. Resultados e discussão	67
3.5. Conclusões	79
CAPÍTULO 4 - REFERÊNCIAS.....	80

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica (A) e matemática (B) de um neurônio artificial. Onde m representa o número de variáveis dependentes do conjunto de dados, no índice do caso do conjunto de dados, k número de índice da unidade de processamento, $x_1(n)$ a $x_m(n)$ representam os valores do caso n das variáveis de entradas, w_{k1} a w_{km} representam os valores dos pesos sinápticos, b_k ruído, $\varphi(\bullet)$ função de ativação, e y_k saída do neurônio de índice k (Adaptado de HAYKIN, 2001). 12
- Figura 2 – A - Divisão de duas classes de dados linearmente separáveis realizada pela topologia de rede neural *perceptron* em um espaço bidimensional. B – Divisão de classes de dados realizada através de hiperplanos pela topologia de rede *perceptron* de múltiplas camadas em um espaço bidimensional (Adaptado de HAYKIN, 2001). 13
- Figura 3 – Representação gráfica da topologia de rede neural *perceptron* de múltiplas camadas, onde na camada de entrada apresentam-se os valores das variáveis independentes. Estes valores por sua vez são aplicados às entradas dos neurônios da primeira camada oculta, e suas saídas por sua vez aplicadas às entradas da camada subsequente até se chegar à saída da camada de saída, a qual representa a variável dependente do modelo (Adaptado de HAYKIN, 2001). 14
- Figura 4 – Modelo de semivariograma e semivariograma experimental representados respectivamente pela linha e pontos. 21
- Figura 5 – Exemplos de mapas de variogramas utilizados para observação de anisotropia. Na figura à esquerda é observado um mapa onde existe uma maior continuidade na direção NE-SW, enquanto que no mapa apresentado na Figura da direita esta continuidade não é observada de forma clara (Jaboticabal, 2008). 27
- Figura 6 – Parâmetros para variograma direcional (MONTEIRO, 2003). 28
- Figura 7 – Rede neural do tipo *perceptron* de múltiplas camadas utilizada para estimar a incidência de HLB, onde os círculos azuis representam os neurônios da camada de entrada, os alaranjados os da camada oculta e o verde a camada de saída. Os três pontos entre as camadas ocultas representam as conexões entre os neurônios (Jaboticabal, 2008). 30

Figura 8 – Exemplo de gráfico de validação cruzada de um modelo utilizado para avaliar sua acurácia (Jaboticabal, 2008).	32
Figura 9 – Exemplo de estatística zonal, onde as células representadas com bordas brancas são utilizadas para computação de estatísticas, como média aritmética, desvio padrão, entre outros, pois interseccionam o polígono em estudo e estão mais de 50% cobertas por ele (Jaboticabal, 2008).	33
Figura 10 – Divisão em mesorregiões do estado de São Paulo de acordo com dados do IBGE (2008). As manchas identificadas em preto representam o cinturão citrícola paulista (Jaboticabal, 2008).	33
Figura 11 – Evolução do parâmetro alcance dos semivariogramas da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas em diversas faixas etárias, estratificado em três anos. Nas colunas são apresentados os valores que compõem a média, que por sua vez é representada pela linha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$) (Jaboticabal, 2008).	36
Figura 12 – Evolução do parâmetro alcance dos semivariogramas da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas de diversas faixas etárias estratificado em três anos. Nas colunas são apresentados os valores que compõem a média que, por sua vez, é representada pela linha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$) (Jaboticabal, 2008).	37
Figura 13 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).	40
Figura 14 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).	40
Figura 15 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).	41
Figura 16 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).	41
Figura 17 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).	42

Figura 18 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).....	42
Figura 19 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).....	43
Figura 20 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).....	43
Figura 21 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).....	44
Figura 22 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	44
Figura 23 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	45
Figura 24 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	45
Figura 25 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	46
Figura 26 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	46
Figura 27 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008). ...	47
Figura 28 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	47

Figura 29 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	48
Figura 30 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	48
Figura 31 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	49
Figura 32 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	49
Figura 33 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	50
Figura 34 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	50
Figura 35 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	51
Figura 36 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	51

Figura 37 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	52
Figura 38 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	52
Figura 39 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	53
Figura 40 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	53
Figura 41 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	54
Figura 42 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	54
Figura 43 - Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	59
Figura 44 - Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade superior a 10 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	59

Figura 45 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade entre 6 e 10 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	60
Figura 46 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade entre 3 e 5 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	60
Figura 47 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade inferior a 2 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).	61
Figura 48 – A) Propriedades onde foram coletados frutos para execução dos ensaios; em vermelho fazendas selecionadas; em cinza cinturão citrícola paulista, letras minúsculas denotam os municípios onde: a) Itapetininga; b) Santa Cruz do Rio Pardo; c) Rio Claro; d) Itirapina; e) Tambaú. B) Exemplo de foto de satélite utilizada para identificação do alinhamento de plantio. (Jaboticabal, 2008).	66
Figura 49 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na severidade da mancha preta dos citros (Jaboticabal, 2008).	70
Figura 50 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na produção de frutos representada pelo peso médio e número médio de frutos (Jaboticabal, 2008).	77
Figura 51 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na produção de frutos representada pelo número de caixas por planta ou face (Jaboticabal, 2008).	77
Figura 52 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na qualidade dos frutos, representada pelo °Brix e Ratio (Jaboticabal, 2008).	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos de variogramas experimentais da incidência de Huanglongbing em citros em municípios do estado de São Paulo e Triângulo Mineiro, estratificados em cinco faixas de idade e em três avaliações (Jaboticabal, 2008).....	35
Tabela 2 – Efeito pepita relativo da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas em municípios do estado de São Paulo, estratificados em cinco faixas de idade e em três avaliações (Jaboticabal, 2008).	38
Tabela 3 – Validação cruzada entre os dados reais de incidência de plantas com sintomas de Huanglongbing e prevista pelas metodologias geoestatística e inteligência artificial (Jaboticabal, 2008).	55
Tabela 4 – Previsão da incidência de plantas cítricas com sintomas de Huanglongbing estimada de média zonal dos talhões do cinturão citrícola e estimava de incidência realizada pela metodologia de krigagem e redes neurais (Jaboticabal, 2008).	56
Tabela 5 – Influência do alinhamento de plantio, na severidade da mancha preta dos frutos cítricos, produção e características tecnológicas do suco (Jaboticabal, 2008).....	68
Tabela 6 – Influência da face exposta na severidade dos sintomas da mancha preta dos frutos cítricos, produção e características tecnológicas do suco. (Jaboticabal, 2008).....	72
Tabela 7 – Dados históricos de temperatura e precipitação do período 1960 a 1990 (Fonte: Somar Meteorologia, www.somarmeteorologica.com.br/v3 , acesso em 15/09/2008).....	74

ESTATÍSTICA ESPACIAL E REDES NEURAIS APLICADAS NO ESTUDO DE EPIDEMIAS DE HUANGLONGBING E MANCHA PRETA NA CULTURA DOS CITROS

RESUMO – Para o estudo da viabilidade do emprego de metodologias de sistema de informação geográfica, geoestatística e redes neurais foram desenvolvidos dois ensaios. O primeiro visou a modelagem da evolução espaço-temporal da incidência do Huanglongbing ao longo dos anos de 2004, 2007 e 2008 em cinco grupos de idade (0 a 2 anos, 3 a 5 anos, 6 a 10 anos, mais de 10 anos, todas as idades), por meio da técnica geoestatística da krigagem e da técnica de inteligência artificial de rede neurais do tipo *perceptron* de múltiplas camadas com topologia 3x10x10x1, treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro. Neste ensaio foi ainda realizada a análise do modelo do semivariograma, cálculo da média zonal dos talhões dentro de cada faixa de idade e mesorregião do estado de São Paulo, e finalmente, foi previsto o padrão espacial da incidência da doença para o ano de 2009 pelas redes neurais. O segundo ensaio consistiu em se verificar o efeito do alinhamento de plantio na severidade da mancha preta dos citros e sua implicação na qualidade do suco e produção. Neste ensaio foram selecionados talhões distribuídos ao longo do cinturão citrícola paulista com diferentes alinhamentos de plantio, onde foram analisadas as variáveis supracitadas nas linhas de plantio e nas faces expostas da planta.

Palavras-chave: modelagem matemática, inteligência artificial, *Candidatus* Liberibacter spp., *Guignardia citricarpa*, alinhamento de plantio.

SPATIAL STATISTICS AND NEURAL NETWORKS APLIED ON STUDY OF HUANGLONGBING AND BLACK SPOT EPIDEMICS ON CITRUS

SUMMARY – For viability study of using geographic information systems, geostatistics and neural networks two experiments were carried out. The first one was focused on modeling the spatial-temporal progress of Huanglongbing incidence in 2004, 2007 and 2008 on five age groups (0 – 2 years old, 3 – 5 years old, 6 – 7 years old, more than 10 years old and all ages) using the geostatistical technique of kriging and the artificial intelligence technique of neural networks of multi-layer perceptron type with 3x10x10x1 topology, trained by resilient error propagation. Complementing the study the analysis of semivariogram model, zonal mean calculation of blocks on each age group were realized inside the mesoregions of São Paulo state and finally the disease incidence spatial pattern for 2009 was forecasted by the neural networks. The objective of the second experiment was verifying effect of planting alignment on citrus black spot severity and its implication on juice quality and production. On this experiment was selected blocks distributed among the São Paulo state citrus belt with different planting alignments, where was analyzed those variables on the lines and exposed faces.

Keywords: math modeling, artificial intelligence, *Candidatus Liberibacter* spp., *Guignardia citricarpa*, planting align.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. MOTIVAÇÃO

O Estado de São Paulo detém 97% das exportações brasileiras de suco de laranja, possuindo o maior pomar do mundo, com cerca de 200 milhões de pés de laranja em 13.000 propriedades. Tal área compreende cerca de 690 mil ha distribuídos ao longo de quase todo estado de São Paulo, sendo complementado pelas áreas citrícolas localizadas no Triângulo Mineiro. Na safra 2007/2008 o setor será responsável pela produção de 368 milhões de caixas de 40,8 kg. A atividade é geradora de aproximadamente 400 mil empregos, sendo de grande importância para o desenvolvimento agrícola do estado, já que a sua maioria é ocupada, por boa parte da chamada classe média rural (Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de São Paulo, 2008).

Nas condições brasileiras, especialmente do estado de São Paulo, apesar do manejo altamente tecnificado, as plantas cítricas, dada a continuidade espaço-temporal, baixa variabilidade genética e o adensamento cada vez maior dos pomares, estes mostram-se muito vulneráveis a uma grande variedade de pragas e doenças (SPÓSITO, 2003). Neste contexto se inserem doenças como a mancha preta dos frutos cítricos, causada pelo fungo *Guignardia citricarpa* Kiely (*Phyllosticta citricarpa* (McAlp.) Van der Aa.) e Huanglongbing (HLB) causada pelas bactérias *Candidatus Liberibacter* spp.. A última doença citada constitui-se no maior desafio da citricultura paulista e também do mundo.

Com o avanço da tecnologia de software, aumento da capacidade de processamento dos computadores e a disponibilidade de informações quase em tempo real proporcionada pela internet, os sistemas de informação geográfica (SIG) tiveram enorme progresso nos últimos anos, pois antes etapas que poderiam levar dias agora são processadas em questões de segundos. Tal avanço também se reflete na usabilidade dos sistemas, onde processos complexos demandavam conhecimento de computação científica para serem executados, como é o caso

das análises geoestatísticas e cálculos matriciais (para as grades geradas pela metodologia). Atualmente, com as novas ferramentas houve uma ampliação das possibilidades da sua utilização por pessoas que conhecem a fundamentação teórica dos métodos, com enorme facilidade e rapidez. Adicionalmente estas ferramentas proporcionam a convergência de diversas fontes de dados e sua disponibilização em formatos comuns aos usuários médios.

Apesar dos avanços da tecnologia dos sistemas de informação geográfica e das metodologias de análise de dados espaciais, poucos estudos são encontrados na literatura acerca do estudo epidemias de doenças em vegetais, especialmente quando se analisa processos que abrangem grandes áreas. A reduzida quantidade de publicações advém da dificuldade de implantação de ensaios, pois para tais estudos se faz necessária implantação de áreas extensas que não receberão tratamento ou manejo fitossanitário, podendo muitas vezes, tais práticas serem proibidas por lei. A proposta deste estudo é realizar a análise da evolução de HLB através de técnicas de geoestatísticas e inteligência artificial e mostrar a utilização de sistemas de informação geográfica no manejo de doenças como a mancha preta dos citros.

1.2. HUANGLONGBING

1.2.1. Introdução

A doença Huanglongbing (HLB), também conhecida como 'Greening' dos citros (VAN VUUREN, 1996), é considerada a doença mais destrutiva de citros no mundo (BOVÉ, 2006), pela severidade dos sintomas, potencial de progressão e por afetar todas as variedades comerciais (GRAÇA, 1991).

Os primeiros relatos da ocorrência de sintomas de HLB ocorreram no século XVIII, nas províncias centrais da Índia. Já o primeiro relato científico sobre a doença deu-se por REINKING (1919), que a descreveu na China como a doença dos ramos amarelos ou 'Huanglongbing' (GOTTWALD et. al., 2007).

Posteriormente, nos anos subseqüentes, vários relatos se sucederam nos continentes Asiático e Africano, na Oceania e agora recentemente, no início do século 21, no continente americano, totalizando quase 40 países onde a doença se faz presente (BOVÉ, 2006).

Por muitos anos, a doença foi considerada como de causa abiótica, atribuindo-a a deficiência mineral ou falta de aeração causada por alagamento, até que LIN (1956) demonstrou sua transmissibilidade por enxertia.

O agente causal de HLB foi caracterizado como uma bactéria Gram negativa (GARNIER et al., 1984), restrita aos vasos do floema da planta, não cultivável em meio de cultura, pertencente à subdivisão do grupo Proteobacteria (BOVÉ & GARNIER, 2002).

Atualmente são conhecidas três formas da bactéria, responsáveis por causar a doença em plantas hospedeiras, sendo a africana, *Candidatus Liberibacter africanus*, a asiática, *Candidatus Liberibacter asiaticus*, e a americana, *Candidatus Liberibacter americanus*, encontradas respectivamente na África, Ásia e América do Sul (JAGOUÉIX et al., 1994; TEXEIRA et al., 2005).

Em todos os países de ocorrência, a doença é responsável por perdas significativas nas áreas citrícolas, chegando até a 95% de redução em alguns locais (MARTINEZ & WALLACE, 1969; ALTAMIRANO et al., 1976; TIRTAWIDJAJA, 1980; BHAVAKUL et al., 1981). Na África do Sul existem relatos de até 100% de perdas na produção (SCHWARZ, 1968).

No Brasil, o HLB foi relatado pela primeira vez em 2004, em plantas de laranjeiras doces (*Citrus sinensis* L. Osbeck) na região de Araraquara, Estado de São Paulo, associada à bactéria *Ca. L. asiaticus* e a uma nova espécie encontrada no país, a *Ca. L. americanus* (COLETTA-FILHO et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2005). Atualmente, a doença HLB encontra-se disseminada em 201 municípios do estado de São Paulo, dois em Minas Gerais e 27 no Paraná (FUNDECITRUS, 2008).

No período de 2004 a 2008, a incidência talhões de citros com HLB no estado de São Paulo evoluiu de 3,41% para 18,57%. Até o momento, mais de três

milhões de plantas já foram erradicadas, mas estima-se que 2,4 milhões de plantas sintomáticas ainda permanecem nos pomares paulistas (FUNDECITRUS, 2008)

Os sintomas da doença são variados. No entanto, uma das características da doença é que as árvores infectadas no campo geralmente desenvolvem um ou mais ramos sintomáticos, enquanto que outras partes da planta permanecem com aparência de saudáveis ou assintomáticas (GOTTWALD et. al., 2007). Nos ramos sintomáticos as folhas caracterizam-se por uma clorose ao longo da nervura principal, progredindo para mosqueamento e amarelecimento por toda a folha, com o avanço da doença. Como sintoma secundário ocorre a formação de folhas de tamanho reduzido e cloroses semelhantes às provocadas pela deficiência de zinco e nitrogênio (GRAÇA, 1991). Com a evolução da doença, há intensa desfolha dos ramos afetados, seguido da expressão de sintomas em outros ramos da planta que, com o tempo pode ocupar toda a copa da laranjeira, inclusive com o surgimento de seca e morte de ponteiros. Os frutos afetados são menores, assimétricos e mostram-se de sabor amargo (McLEAN & SCHWARZ, 1970). Tais frutos exibem a casca com coloração irregular, razão pela qual a doença é também designada Greening, e podem cair prematuramente (McCLEAN & SCHWARZ, 1970). Em frutos severamente afetados é também comum a ocorrência de sementes abortadas (GRAÇA, 1991).

1.2.2. Disseminação

A identificação do psíldeo africano *Trioza erytreae* (Del Guercio) e o psíldeo asiático *Diaphorina citri* Kuwayama como vetor do *Candidatus Liberibacter* spp. ocorreu nas Filipinas, por SALIBE & CORTEZ (1966). Tal forma de disseminação é o meio primário de disseminação do patógeno no campo (OBERHOLZER & HOFMEYER, 1955). Recentemente, no estado de São Paulo foi comprovada que *D. citri* pode transmitir indistintamente *Ca. L. asiaticus* e *Ca. L. americanus* (TEXEIRA et al., 2005). A taxa de transmissão por *D. citri* pode variar de 1 a 100% (XU et al., 1988), sendo que alguns trabalhos indicam que períodos curtos de alimentação são

suficientes para que ocorra a transmissão (RAYCHAUDHURI et al., 1972). Entretanto, outros autores indicam a necessidade de um período mínimo de 5 horas de alimentação (XU et al., 1987). Além dos insetos vetores *Ca. Liberibacter* spp. pode ser transmitida por meio de enxertia (SALIBE & CORTEZ, 1966). No entanto, o nível de infecção é variável e depende da parte da planta enxertada, da quantidade de tecido utilizada e concentração do patógeno presente nas regiões utilizadas (HALBERT & MANJUNATH, 2004).

1.2.3. Epidemiologia

Em função da natureza perene da doença e de seu potencial destrutivo, poucos estudos sobre a epidemiologia do HLB foram desenvolvidos. Outro fator que contribui para a escassez de informação refere-se à dificuldade da instalação de campos experimentais onde seja possível a observação do desenvolvimento da epidemia, sem intervenção para o seu controle (GOTTWALD et al., 2007). Na literatura são encontrados estudos sobre a curva de progresso da doença desenvolvidos na China, no município de Liuzhou, província de Guangxi, nos anos de 1953 e 1968, seguido por ensaios na Ilha Reunião em 1970 (GOTTWALD et al., 1991a; GOTTWALD et al., 1989; GOTTWALD et al., 1991b), e mais recentemente na África do Sul, Vietnã, Brasil (estado de São Paulo) e Estados Unidos da América, notadamente no estado da Flórida (GOTTWALD et al., 2007). Nestes ensaios foi possível observar a natureza agressiva da doença, onde em intervalos de pouco mais de 10 meses é comum observar incrementos superiores a 100% na incidência da doença (CATLING & ATKINSON, 1974, GOTTWALD et al., 2007). No ensaio realizado no Vietnã por GATINEAU et al. (2006) foram avaliados três tratamentos: sem controle químico do vetor, Fenobucarb (inseticida de contato) e Imidacloprid (inseticida sistêmico). Após três anos do plantio dos pomares foi registrada incidência da doença de 96%, 74% e 24% respectivamente.

As análises do padrão espacial da doença através da análise de seqüências ordinárias demonstraram evidências de agregação entre plantas imediatamente

adjacentes, não sendo, porém, esta agregação muito forte (MADDEN et al., 1982; GOTTWALD et al., 1989; GOTTWALD et al., 1991a; BASSANEZI et al., 2005; GOTTWALD et al., 2006). Foi observado também que na maioria dos casos existia também uma agregação na linha de plantio, porém nos estudos realizados no Brasil, foi observado além da agregação dentro das linhas de plantio. A distância entre os focos de plantas doentes foi estimada em torno de 25 a 50m, indicando que os psíldeos voam a esta distância em média (GOTTWALD et al., 2007).

1.2.4. Controle

O controle dos patógenos responsáveis pela HLB é difícil, sendo também necessário o emprego de medidas auxiliares no manejo da doença como inspeção constante do pomar; uso de mudas sadias; controle dos vetores por meio de monitoramento e aplicação de inseticidas; erradicação de plantas sintomáticas, assim como das plantas hospedeiras alternativas da bactéria e do vetor, como a murta (*Murraya paniculata*).

Por se tratar de uma bactéria sistêmica a poda de galhos e/ou ramos sintomáticos não é eficaz para o controle da doença, pois não recupera a planta e nem reduz a fonte de contaminação. A principal estratégia ou a mais empregada pelos citricultores para diminuição da contaminação em laranjeiras e disseminação da doença na propriedade ou talhão é o controle químico do vetor *D. citri*.

Surpreendentemente, mesmo com relatos acerca da presença de *D. citri* no Brasil, desde a década de 40 (GALLO & MONTENEGRO, 1960), até o ano de 2004 esse inseto não se apresentava como praga importante da cultura, ocorrendo endemicamente nos pomares, incluindo os do estado de São Paulo. Nos recentes anos, com a comprovação do seu papel como vetor, tais psíldeos têm sido responsáveis por intensas aplicações de inseticida nos pomares de citros.

O controle de *D. citri* é realizado geralmente com inseticidas sistêmicos e de contato. Os inseticidas sistêmicos são mais eficazes no controle desses insetos em virtude do fato do psíldeo se alimentar de seiva (YAMAMOTO, 2006). O controle

biológico com parasitóides é realizado em outros países por meio da vespa ectoparasitóide *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) (AUBERT, 1987). No Brasil, a ocorrência natural deste inimigo natural foi relatada em 2004. No entanto, ainda não existe produção suficiente deste inseto de tal forma que se viabilize o controle biológico dos mesmos (TURATI, 2008).

1.3. MANCHA PRETA DOS CITROS

1.3.1. Introdução

Nas condições brasileiras, especialmente do estado de São Paulo, apesar do manejo altamente tecnificado, as plantas cítricas, mostram-se muito vulneráveis a uma grande variedade de pragas e doenças em função da continuidade espaço temporal dos plantios, base genética estreita e adensamento dos pomares (SPÓSITO, 2003). Neste contexto se insere a mancha preta dos frutos cítricos, causada pelo fungo *Guignardia citricarpa* Kiely [*Phyllosticta citricarpa* (McAlp.) Van der Aa.].

O fungo *G. citricarpa* afeta ramos, folhas e frutos, sendo que os maiores prejuízos se dão nestes últimos, uma vez que têm sua aparência depreciada para o mercado de frutas frescas, tanto para o mercado interno. Como para a exportação. Devido às barreiras fitossanitárias e pelo fato do patógeno ser classificado como praga A1 (de alto risco) pela comunidade Européia e Estados Unidos da América, há uma restrição significativa à exportação de frutos cítricos in natura. Além disso, a doença leva à queda prematura de frutos antes que estes completem sua maturação, agravando os níveis de prejuízos, que chegam a vários milhões de dólares em várias regiões produtoras (SPÓSITO, 2003).

1.3.2. Epidemiologia da mancha preta dos citros

O patógeno produz ascósporos e conídios. Quando da ocorrência da fase anamórfica, os conídios são formados em picnídios produzidos em lesões nos ramos, nas folhas e especialmente nos frutos. Na maturidade, a partir dos ostíolos, emergem os conídios envoltos por uma substância mucilaginosa que se solubiliza ao entrar em contato com a água, sendo dessa forma dispersos em suspensão, chegando até algum órgão suscetível próximo, onde novas infecções podem ocorrer. Tais estruturas, por serem disseminadas somente pela água, conseguem atingir tecidos do hospedeiro situados a curtas distâncias da fonte de inóculo. Segundo a literatura internacional, especialmente aquela oriunda da Austrália e da África do Sul (KIELY, 1948; KIELY, 1949; McONIE, 1967; KOTZÉ, 1988; SCHUTTE & KOTZÉ, 1997), tais estruturas têm pouca importância nas epidemias da doença nesses países, porém nas condições Brasileiras estas estruturas possuem papel importante no aumento do inóculo em áreas já contaminadas (BALDASSARI, 2001).

Os ascósporos são produzidos em folhas cítricas em fase de decomposição no solo, onde os pseudotécios, por apresentarem fototropismo positivo são formados no lado da folha voltado para a luz. No interior dos pseudotécios são formados vários ascos bitunicados, de formato cilíndrico-clavado, contendo oito ascósporos em cada um deles.

A maturação dos ascósporos leva de 40 a 180 dias a contar da queda das folhas, sendo fortemente influenciada por características do manejo, como por exemplo, a utilização de cobertura vegetal, e por fatores ambientais (KOTZÉ, 1988; GOES et al., 2004). A produção e maturação dos ascósporos são favorecidas pela alternância de períodos secos e úmidos, situação freqüentemente observada no Brasil durante a estação chuvosa do ano. Após a sua maturação, ocorre a liberação ativa dos ascósporos, através de ejeção, atingindo altura de aproximadamente 1 cm (KIELY, 1948; KOTZÉ, 1963). Sua disseminação se dá através de correntes de ar, que podem transportá-los a longas distâncias. Devido à

mucilagem existente em suas extremidades, os ascósporos ao aderirem na superfície de um hospedeiro compatível, e na presença de água livre, penetram nos tecidos e formam uma massa micelial na região sub-cuticular, onde o fungo permanece em estado quiescente, até o retorno de suas atividades, após o período de incubação, que varia de 4 a 6 meses (TIMMER, 1999).

Para que o patógeno se instale com sucesso nos frutos é necessário que estes estejam dentro do período de suscetibilidade, o qual é de pelo menos de 24 semanas contadas a partir da fase de queda de pétalas (BALDASSARI, 2001). Assim, para que o controle da doença seja eficiente, deve-se realizar a aplicação de fungicidas durante o referido período, o que implica, em muitas vezes, do emprego de até seis pulverizações, cujo rigor depende do mercado de destino dos frutos, o período residual dos fungicidas e o período de suscetibilidade dos frutos (GOES et al., 2000). Tal situação eleva de forma significativa os custos de produção, além de possuir implicações ecológicas desfavoráveis ao meio ambiente e propiciar à seleção de linhagens resistentes do patógeno, no caso do emprego de fungicidas sistêmicos.

1.4. REDES NEURAIS

1.4.1. Introdução

As redes neurais artificiais, comumente conhecidas como redes neurais, foram inspiradas na habilidade apresentada por organismos com sistema nervoso no desempenho de funções como processamento de informação sensorial e na capacidade de interação com ambientes instáveis. As redes neurais têm seus princípios fundamentais de funcionamento assentados nos trabalhos de modelagem de processos biológicos e neurofisiológicos, cognitivos e comportamentais, freqüentemente identificada como: (i) uma sub-especialidade da Inteligência Artificial; (ii) uma classe de modelos matemáticos para problemas de classificação e reconhecimento de padrões; (iii) como uma parte da teoria

conexão dos processos mentais; (iv) uma categoria de modelos da ciência de cognição (KOVACS, 1996).

As redes neurais, de uma forma simplista se propõem a simular a forma de aprendizado do cérebro através de modelos matemáticos, onde uma das características básicas do pensamento é sua capacidade de fazer inferências baseadas em experiências anteriores. Muitos são os problemas reais que podem ser simulados e resolvidos através do uso dessa técnica. RAMOS (2001) utilizou as redes neurais para classificação natural de frutos onde, através de atributos simples como peso, tamanho, firmeza, cor e aroma, permitiu-se a indicação dos padrões de qualidade de um determinado grupo de consumidores. Outro exemplo é a visão humana, a qual é uma tarefa de processamento de informação, onde a função do sistema visual é fornecer uma representação de um ambiente em específico e, mais importante que isso, fornecer a informação necessária para a sua interação (HAYKIN, 2001). Especificamente, o cérebro realiza, rotineiramente, tarefas de reconhecimento perceptivo (reconhecimento de um rosto familiar inserido em uma cena não familiar) em aproximadamente 100 a 200 ms, ao passo que tarefas de complexidade muito menor podem levar dias para serem executadas em um computador digital convencional.

O trabalho com redes neurais tem sido motivado pelo reconhecimento de que o cérebro processa informações de forma diferente dos computadores digitais. O cérebro é um computador altamente complexo, não linear e paralelo, o qual tem a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, conhecidos por neurônios, de forma a realizar seu processamento muito mais rapidamente que os computadores digitais hoje existentes (HAYKIN, 2001).

Segundo a definição desenvolvida por HAYKIN (2001), uma rede neural é um processador altamente paralelizado, constituído de unidades de processamento simples, que tem a propensão natural para armazenar o conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Desta forma, a rede neural se assemelha ao cérebro em dois aspectos: i) a força de conexão entre neurônios, ou pesos sinápticos, é utilizada para armazenar o conhecimento adquirido; ii) o

conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um algoritmo de aprendizagem, cuja função é modificar os pesos sinápticos da rede de uma forma ordenada para alcançar um objetivo.

1.4.2. Histórico

O estudo das redes neurais surgiu com intuito de modelar o funcionamento do cérebro. Tal estudo teve origem na psicologia, onde as teorias de Freud, William James e de outros psiquiatras do século XIX serviram de base para posteriores trabalhos, os quais deram origem ao estudo das redes neurais atuais (RAMOS, 2001). McCulloch, um psiquiatra e neuroanatomista, em conjunto com Pitts, um matemático, publicaram em 1943 (McCULLOCH & PITTS, 1943) um trabalho que foi o ponto de partida para a ciência das redes neurais artificiais atuais. Neste trabalho eles unificaram os estudos de neurofisiologia com a lógica matemática, gerando um modelo de neurônio que seguia a regra do tudo ou nada, onde a união de várias destas unidades era capaz de aproximar qualquer função computacional. Tal fato foi suficiente para este trabalho ser aceito como ponto de nascimento das disciplinas de redes neurais e inteligência artificial (HAYKIN, 2001).

O próximo passo significativo nesta ciência se deu através dos trabalhos de HEBB (1949), o qual demonstrou que mudanças nas forças sinápticas (conexões entre neurônios) são proporcionais à sua ativação. Esta foi a teoria básica para a criação de redes neurais com a habilidade de aprender. Cerca de 15 anos após o trabalho pioneiro de McCulloch & Pitts, ROSENBLATT (1958) apresentou o *perceptron* (Figura 1A e B), através de uma nova abordagem para problemas de reconhecimento de padrões. WIDROW & HOFF (1960) desenvolveram o algoritmo do mínimo quadrático médio e o usaram para formular o modelo Adaline, o qual é derivado do *perceptron*.

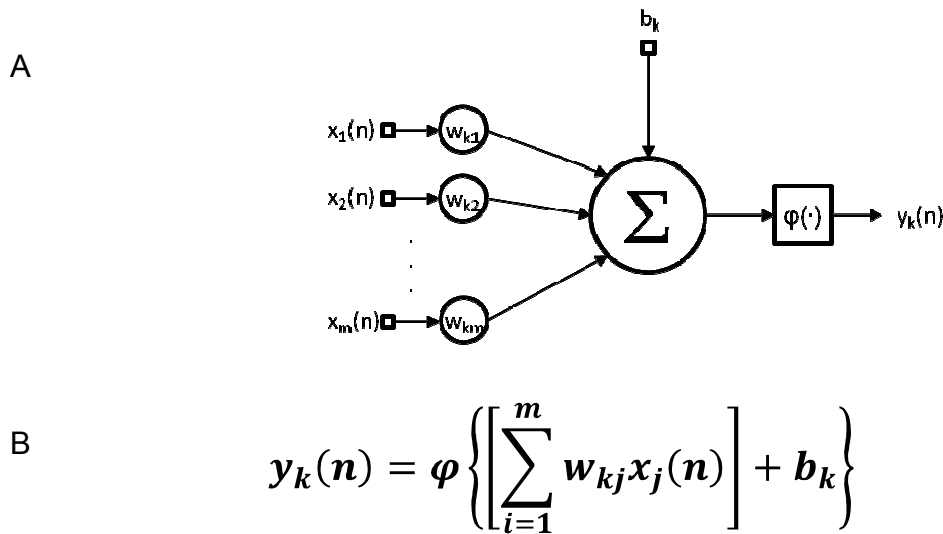


Figura 1 - Representação gráfica (A) e matemática (B) de um neurônio artificial. Onde m representa o número de variáveis dependentes do conjunto de dados, no índice do caso do conjunto de dados, k número de índice da unidade de processamento, $x_1(n)$ a $x_m(n)$ representam os valores do caso n das variáveis de entradas, w_{k1} a w_{km} representam os valores dos pesos sinápticos, b_k ruído, $\varphi(\cdot)$ função de ativação, e y_k saída do neurônio de índice k (Adaptado de HAYKIN, 2001).

Durante os anos 60, acreditava-se que as redes neurais formadas por perceptrons podiam calcular qualquer função. Porém, MINSKY & PAPERT (1969) demonstraram matematicamente que os perceptrons de camada única eram capazes de resolver exclusivamente problemas de classificação com dados linearmente separáveis, ou seja, dados que podem ser separados por um único hiperplano (Figura 2A).

Após um novo período de estagnação de 10 anos devido a razões tecnológicas e a falta de motivação ocasionada pelo trabalho de MINSKY & PAPERT (1969), o interesse na área de redes neurais ressurgiu nos anos 70, com o desenvolvimento dos mapas auto-organizáveis e nos anos 80 com os trabalhos de GROSSBERG (1980), HOPFIELD (1982) e KOHONEN (1982). Acrescenta-se ainda o trabalho de RUMELHART et al. (1986), o qual foi o responsável pelo desenvolvimento do algoritmo de retro-propagação, o qual possibilitou o

desenvolvimento dos perceptrons de múltiplas camadas, os quais superam a limitação dos perceptrons de camada única na questão das classes linearmente separáveis. Tal alternativa possibilita separar os dados através de hiperplanos (Figura 2B).

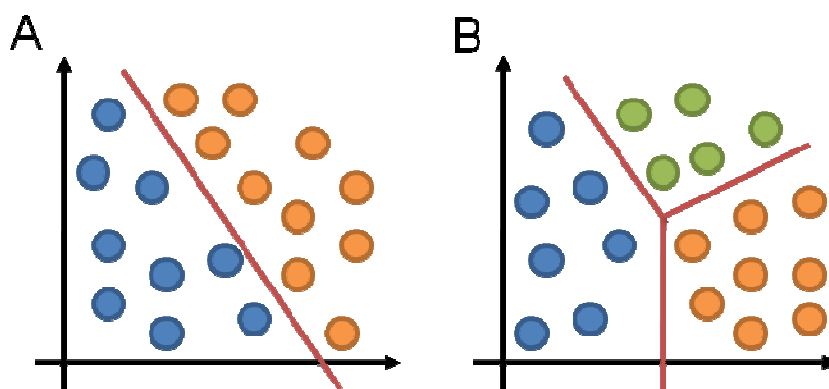


Figura 2 – A - Divisão de duas classes de dados linearmente separáveis realizada pela topologia de rede neural *perceptron* em um espaço bidimensional. B – Divisão de classes de dados realizada através de hiperplanos pela topologia de rede *perceptron* de múltiplas camadas em um espaço bidimensional (Adaptado de HAYKIN, 2001).

Após o trabalho de RUMELHART et al. (1986) o algoritmo de retro-propagação tem sido explorado em várias áreas não relacionadas a estudos e simulações de processos cognitivos, sendo uma ferramenta poderosa e prática na solução de problemas que seriam difíceis utilizando a técnica computacional convencional. Estes problemas abrangem desde o processamento de imagens, reconhecimento de voz e caracteres, à previsão e otimização.

1.4.3. Perceptron de múltiplas camadas

Os perceptrons de múltiplas camadas (Figura 3) se distinguem dos perceptrons de camada única pela presença de uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas. Ao adicionar-se uma ou mais camadas intermediárias aumenta-se o poder computacional de processamento não-linear e de

armazenagem de informação na rede. O conjunto de saídas dos neurônios de cada camada de rede é utilizado como entrada para a camada seguinte (RAMOS, 2001).

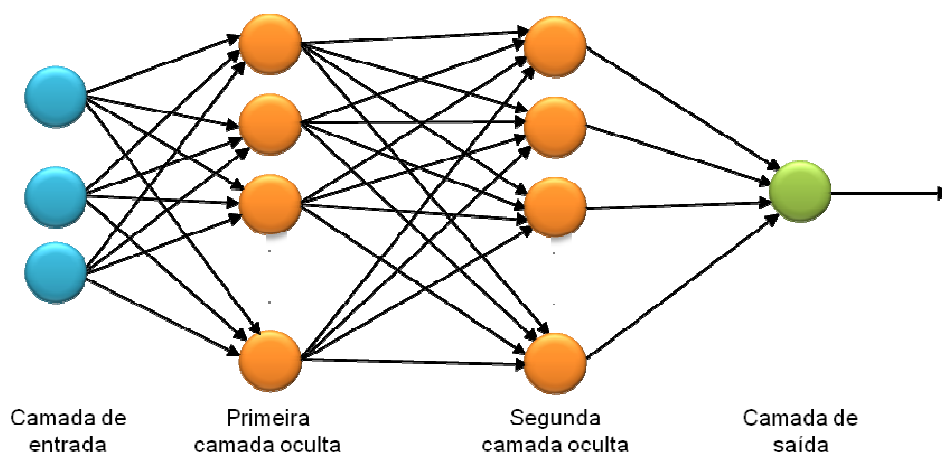


Figura 3 – Representação gráfica da topologia de rede neural *perceptron* de múltiplas camadas, onde na camada de entrada apresentam-se os valores das variáveis independentes. Estes valores por sua vez são aplicados às entradas dos neurônios da primeira camada oculta, e suas saídas por sua vez aplicadas às entradas da camada subsequente até se chegar à saída da camada de saída, a qual representa a variável dependente do modelo (Adaptado de HAYKIN, 2001).

1.4.4. Algoritmo da retro-propagação do erro

O algoritmo de retro-propagação é um método de treinamento de redes neurais, baseado no conceito de gradiente, e tem como objetivo minimizar o quadrado médio do erro. Aplicações que utilizam este treinamento geralmente tratam de problemas que envolvem o mapeamento de um conjunto de entradas a um conjunto específico de saídas desejadas.

- A. Inicialização: Ajuste os pesos sinápticos da rede neural com valores aleatórios uniformemente distribuídos, com média igual a zero e valor da variância igual a um.

B. Computação para frente

- a. Para cada caso n calcular o valor de saída de todos os neurônios da rede iniciando pela primeira camada até chegar à última camada, sendo $y_j^{(l)}$ é a saída do neurônio j da camada l ; x_j é a j -ésima variável de entrada; φ é a função de ativação empregada na rede; $w_{ji}^{(l)}$ é o peso sináptico da entrada i do neurônio j da camada l ; n é o número de índice do caso atual e $m_j^{(l)}$ é o número de entradas do neurônio j da camada l .

$$y_j^{(l)}(n) = \begin{cases} \varphi \left(\sum_{i=0}^{m_j^{(l)}} w_{ji}^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n) \right) & \text{se } l \neq 0 \\ x_j(n) & \text{se } l = 0 \end{cases}$$

- b. Calcular o sinal do erro e_j da camada de saída, sendo $d_j(n)$ e $o_j(n)$ são os valores de resposta desejados e obtidos respectivamente na j -ésima saída da rede neural.

$$e_j(n) = d_j(n) - o_j(n)$$

C. Computação para trás (Retro-propagação)

- a. Calcular os gradientes locais ($\delta_j^{(l)}$) do neurônio j da camada l da rede definidos por:

$$\delta_j^{(l)}(n) = \begin{cases} e_j(n) \varphi'_{j_j} \left(\sum_{i=0}^{m_j} (w_{ji}^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n)) \right) & \text{para o } j - \text{ésimo neurônio da camada de saída} \\ \varphi'_{j_j} \left(\sum_{i=0}^{m_j} (w_{ji}^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n)) \right) \sum_k \delta_k^{(l+1)}(n) w_{kj}^{(l+1)}(n) & \text{para o } j - \text{ésimo neurônio da camada oculta 1} \end{cases}$$

- Ajustar os pesos sinápticos da rede de acordo com a regra delta generalizada, sendo α é a constante do termo momento e η é a taxa de aprendizagem; $\Delta w_{ji}^{(l)}$ significa o valor a ser somado aos valores dos pesos, na entrada i do neurônio j da camada l .

$$\Delta w_{ji}^{(l)}(n+1) = \alpha [\Delta w_{ji}^{(l)}(n-1)] + \eta \delta_j^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n)$$

D. Interação

- Verificar se um parâmetro de parada foi alcançado (número de épocas; valor da soma dos erros quadráticos atingiu um limiar pré-estabelecido); se positivo interromper o processo de treinamento, caso contrário, repetir os passo 2 e 3 e incrementar a época.

Modo seqüencial. Neste modo de operação, a atualização dos pesos sinápticos é realizada após a apresentação de cada exemplo de treinamento. Modo por lote: o ajuste dos pesos é realizado após a apresentação de todos os exemplos de treinamento que constituem uma época, onde os valores de $\Delta w_{ji}^{(l)}$ de uma época são somados e depois aplicados aos pesos sinápticos $w_{ji}^{(l)}$. Comparativamente com o modo de apresentação seqüencial, o modo por lote apresenta uma estimativa mais precisa do vetor gradiente, sendo garantida a convergência para um mínimo local sob condições simples.

1.4.5. Algoritmo da propagação elástica do erro (RPROP)

Uma das principais críticas ao algoritmo de retro-propagação vem de seu alto tempo de treinamento. Para sanar esta dificuldade foi desenvolvido o algoritmo de propagação elástica que aparece como um dos métodos heurísticos mais rápidos e confiáveis para uma grande faixa de problemas, uma vez que este

algoritmo geralmente converge de quatro a cinco vezes mais rápido que o algoritmo de retro-propagação padrão.

No algoritmo da propagação elástica do erro o ajuste da taxa de aprendizado e as mudanças nos pesos sinápticos dependem somente dos sinais dos termos do gradiente e não de sua magnitude. Para valores de dados desejados próximos de 0 ou 1, o erro calculado é relativamente grande, porém sua derivada é próxima a zero, o que induz a um passo pequeno na superfície de erro devido ao decréscimo exponencial do erro no algoritmo de retro-propagação padrão. Por este fato, o algoritmo RPROP não se torna lento na fase final do treinamento.

No algoritmo RPROP, cada peso sináptico w_{ij} possui seu próprio passo Δw_{ij} que varia no tempo de acordo com a seguinte convenção:

$$Se \begin{cases} \Delta w_{ij}(t-1) > \Delta_{min} \\ ou \\ \Delta w_{ij}(t-1) < \Delta_{max} \end{cases} \left\{ \Delta w_{ij}(t) = \begin{cases} \eta^+ \Delta w_{ij}(t-1) & se \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) > 0 \\ \eta^- \Delta w_{ij}(t-1) & se \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) < 0 \\ \Delta w_{ij}(t-1) & se \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) = 0 \end{cases} \right.$$

Onde: η^+ = Valor da taxa de aprendizagem para os casos de sinal positivo do gradiente de erro (geralmente 1,2).

η^- = Valor da taxa de aprendizagem para os casos de sinal negativo do gradiente de erro (geralmente 0,5).

Δ_{min} = Valor mínimo de Δw_{ij} (geralmente 10^{-4}).

Δ_{max} = Valor máximo de Δw_{ij} (geralmente 50).

1.5. GEOESTATÍSTICA

A aplicação das ferramentas da estatística clássica na experimentação agrícola, para que se possam empregar testes de comparação entre tratamentos, está vinculada à observação dos pressupostos básicos da análise de variância, tais

como: a) independência entre observações; b) independência e homogeneidade entre os erros entre observações; c) aditividade dos efeitos; d) normalidade dos resíduos. No entanto, vários trabalhos têm demonstrado que observações vizinhas, de variáveis apresentam correlação ou dependência espacial (VIEIRA et al., 1983; PREVEDELLO, 1987; SCOTT et al., 1994; CAMBARDELLA et al., 1994; CAHN et al., 1994; PAZ et al., 1996 e SOUZA, 1999). Outros trabalhos têm evidenciado que aspectos fenológicos da planta também não são aleatórias, ou seja, não variam ao acaso, e seguem comportamento espacial (TABOR et al., 1984; VIEIRA et al., 1987; MULLA, 1993 e SALVIANO et al., 1995).

A estatística clássica, por si só, é insuficiente para retratar fielmente os efeitos dos tratamentos, necessitando de ferramentas complementares. A pesquisa agrônômica tem, constantemente, lançando mão de ferramentas da estatística clássica para testar diferenças entre tratamentos. Porém, quando se depara com uma situação onde a variabilidade da variável estudada é muito grande, encara-a como uma dificuldade e, normalmente, muitos dados deixam de ser analisados e publicados, por se considerar que esta variabilidade é um erro, ou resíduo, fruto de fatores não controlados e ao acaso (REICHARDT et al., 1986). Se a distribuição espacial das amostras for observada e levada em consideração, em muitos casos será possível tirar vantagem da variabilidade espacial (MATA, 1997). É oportuna a observação de REICHARDT (1986) de que a estatística clássica e a geoestatística, ou estatística espacial, se completam. Uma não exclui a outra, e perguntas não respondidas por uma, muitas vezes podem ser respondidas pela outra.

A metodologia proposta pela geoestatística difere daquela da estatística clássica, basicamente, na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, isto é, as variações são aleatórias no espaço, a geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas (SILVA, 1988). Sendo assim, a variabilidade espacial das variáveis pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis

regionalizadas, segundo a qual os valores de uma variável estão, de alguma maneira relacionados à sua disposição espacial e, portanto, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores (VIEIRA et al., 1981 e VAUCLIN et al., 1983).

1.5.1. Semivariogramas

As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial a partir do ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade de dados para locais não amostrados (SALVIANO, 1996). Segundo FOLEGATTI (1996), para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. De acordo com VIEIRA & LOMBARDI NETO (1995), os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de freqüências da variável analisada.

O semivariograma mede o grau de dependência espacial entre as amostras. Para sua construção a geoestatística assume algumas hipóteses de estacionaridade (FOLEGATTI, 1996):

Estacionaridade de 1ª Ordem: o comportamento da variável é o mesmo em qualquer posição em que o dado é considerado, ou seja, a distribuição não varia por translação;

Estacionaridade de 2ª Ordem: existe uma esperança $E[Z(x)] = m$, $\forall x$ e não depende de x (posição), e para cada par $\{Z(x), Z(x+h)\}$ existe covariância e depende somente da distância h ;

Hipótese Intrínseca: existe uma esperança $E[Z(x)] = m$, $\forall x$ e não depende de x (posição), e para $\forall h$ o incremento $[Z(x)-Z(x+h)]$ tem variância finita e não depende da posição x .

Com a análise exploratória é possível estimar a dispersão das variáveis $Z(x)$ e $Z(x+h)$ em torno da primeira bissetriz, para cada passo (distância h). Assim, a distância entre o par e a primeira bissetriz ($Z(x) = Z(x+h)$) pode ser medida por $d = |Z(x+h) - Z(x)| \cos 45^\circ$ e a dispersão dos pares em relação à primeira bissetriz.

Como nos fenômenos naturais é difícil manter uma malha de amostragem regular, convencionou-se trabalhar com classes de passos, plotando-se o valor médio da semivariância no eixo das ordenadas, com o valor central da classe no eixo das abscissas.

O tamanho (comprimento) da classe desse passo é definido pela tolerância do passo. Para um passo h , com tolerância de $h/2$, temos as classes de $0 \pm h/2$, $h \pm h/2$ (de $h/2$ a $3h/2$), $2h \pm h/2$ (de $3h/2$ a $5h/2$) e assim por diante. Para a primeira classe ($h/2$), como o vetor h pode ser definido em 360° , obtendo-se h quando considerados os valores em todas as direções. O gráfico com as classes de passos e os pontos centrais dos pares é chamado de variograma experimental (Figura 4).

Modelagem da semivariância

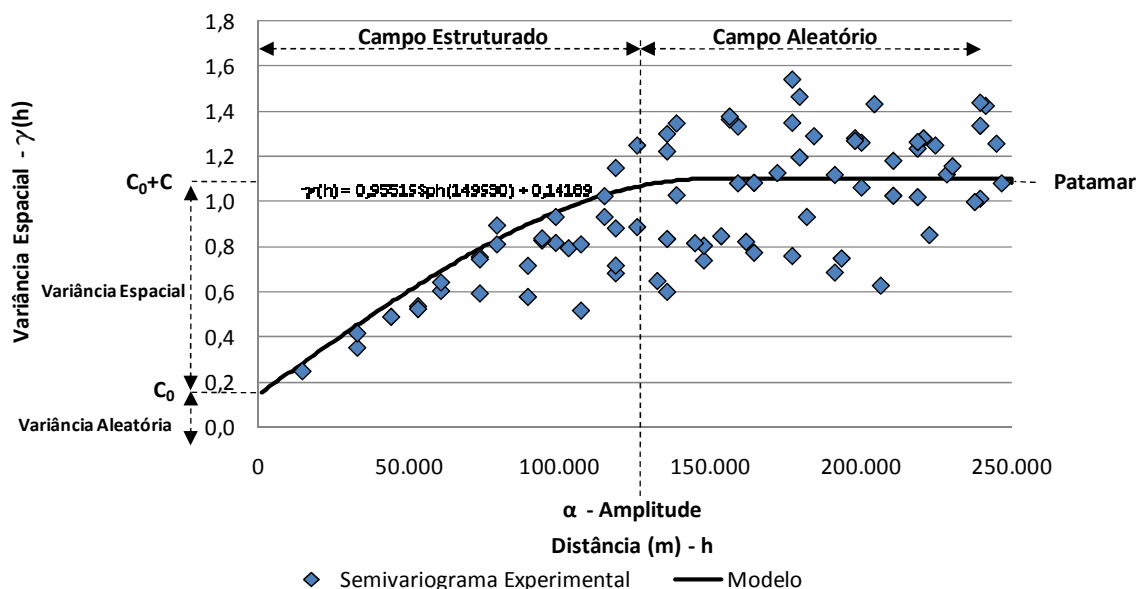


Figura 4 – Modelo de semivariograma e semivariograma experimental representados respectivamente pela linha e pontos.

O modelo matemático de variograma deve ser ajustado a partir do variograma experimental. O ajuste é dado pela estimativa dos parâmetros do variograma ao variograma experimental. Na Figura 4 o valor α denominado amplitude corresponde à distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes. A partir distância α não há mais influência entre os pontos, marcando o início de uma zona de aleatoriedade. Para os casos em que não há tendência é possível definir uma variabilidade máxima para os pares de pontos. A distância $h \leq \alpha$ define o fenômeno de transição, caracterizado por um variograma que atinge um máximo, denominado patamar, ou seja, o valor no qual o variograma se estabiliza no campo aleatório. Geralmente esse patamar corresponde à variância estatística dos dados, chamada de variância à priori.

O valor C_0 é denominado variância aleatória ou efeito pepita, resulta do erro intrínseco à medida da variável, dada pela imprecisão de um equipamento, erro de medida ou uma aleatoriedade inerente à variável causado por uma alta

variabilidade para distâncias muito reduzidas. Tentativamente pode-se adensar uma malha de amostragem de dados para identificar um comportamento mais contínuo, eliminar pontos de amostragem extremos ou mesmo obter uma duplicata do ponto. Entretanto muitas vezes essa variabilidade é uma característica do processo estudado. A contribuição do valor C é denominada de variância espacial e é dada pela diferença entre a variância à priori (patamar) e o efeito pepita. Representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias sucessivamente maiores (LEITE, 2005).

O objetivo da análise variográfica é o de ajustar um modelo ao variograma experimental, de modo que com este modelo teórico possam ser feitas inferências em relação ao comportamento real da variável (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989), e para prosseguir com o cálculo dos pesos de cada amostra no processo de predição de um ponto desconhecido.

1.5.2. Krigagem

Na maioria das vezes o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados. O interesse pode ser em um ou mais pontos específicos da área ou obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável na região por meio de um mapa de isolinhas ou de superfície (SILVA JUNIOR, 2001). A estimativa de valores em locais onde não foram feitas amostragens trata-se de uma fase muito importante do projeto, pelo fato da malha de pontos estimada ser responsável pela qualidade dos mapas a serem gerados. Essa estimativa deve ser feita por métodos robustos e consistentes, para gerar mapas confiáveis, dessa forma, auxiliando nos projetos que requeiram estimativas com determinada precisão.

Uma vez estimado o modelo do variograma, a estimativa por krigagem é única e os pesos são estimados de forma a minimizar a variância do erro da estimativa. Usando um variograma de efeito pepita puro, os pesos são igualmente

distribuídos, sendo que, nesse caso, a geoestatística não oferece vantagens em relação a outros métodos de interpolação.

Segundo THOMPSON (1992), a krigagem apresenta a seguinte seqüência de cálculos:

$$[A]^{-1}[b] = [\lambda]$$

onde:

$[A]^{-1}$ é a matriz inversa de semivariância entre as localidades da vizinhança de um ponto, determinada pelo modelo de semivariograma com base nas distâncias euclidianas entre os locais;

$[b]$ é a matriz de semivariância entre as localidades vizinhas (com a variável estimada) e o ponto para o qual a variável será interpolada, também determinado pelo modelo de semivariograma, com base nas distâncias entre as localidades vizinhas e o ponto a ser interpolado;

$[\lambda]$ a matriz de pesos de krigagem.

$$X_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i X_i$$

sendo:

X_p valor do ponto p;

λ_i peso da i-ésima localidade vizinha;

X_i valor da variável para a i-ésima localidade;

n número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto.

CAPÍTULO 2 - ESTUDO DA INCIDÊNCIA DE HUANGLONGBING POR MEIO DE FERRAMENTAS GEOESTATÍSTICAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

2.1. RESUMO

Com base nos dados de levantamento da incidência de Huanglongbing realizado pelo FUNDECITRUS no estado de São Paulo e triângulo mineiro procedeu-se com a análise geoestatística, que consistiu na modelagem da variância espacial, krigagem e geração de mapas de erros. Outra análise realizada no estudo foi a modelagem do padrão espaço-temporal da doença através de redes neurais artificiais do tipo *perceptron* de múltiplas camadas com topologia 3x10x10x1 treinada através do algoritmo da propagação elástica do erro, onde a camada de entrada recebeu as variáveis escalonadas entre 0 e 1: ano, latitude e longitude enquanto que a camada de saída recebeu a incidência da doença também escalonada. Para verificação do desempenho dos modelos foi realizada a validação cruzada para as duas metodologias. Também foi calculada a média zonal dos talhões do cinturão citrícola dentro de cada mesorregião do estado de São Paulo. Finalmente, foi feita a estimativa do padrão espacial da doença para o ano de 2009 através das redes neurais.

A análise do modelo do semivariograma demonstrou que o alcance médio da doença para a faixa de idade entre 0 e 2 ano foi de 140 km e para pomares com idade superior a 10 anos foi de 122 km, analisando-se a evolução do alcance ao longo do tempo nota-se que ele evoluiu de 105 km, em 2004, para 138 km em 2008. As redes neurais não tiveram sucesso em incorporar o padrão espacial da doença através da metodologia empregada, gerando mapas e previsões não coerentes.

Palavras-chave: distribuição espacial, epidemiologia, krigagem, rede neural.

2.2. INTRODUÇÃO

No ano agrícola 2007/2008 devem ser produzidas, no estado de São Paulo e triângulo mineiro 368 milhões de caixas laranja de 40,8 kg, gerando 400 mil empregos diretos. O estado de São Paulo detém 97% das exportações brasileiras de suco de laranja, possuindo o maior pomar do mundo, com cerca de 200 milhões de pés de laranja em 13.000 propriedades em 691 mil ha (Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de São Paulo, 2008).

Nas condições brasileiras, especialmente do estado de São Paulo, apesar do manejo altamente tecnificado, as plantas cítricas, dado ao plantio contínuo dos pomares, mostram-se muito vulneráveis a uma grande variedade de pragas e doenças (SPÓSITO, 2003). Nestas condições se inserem doenças como o Huanglongbing, (HLB) que é considerada a doença mais destrutiva de citros no mundo (BOVÉ, 2006), pela severidade dos sintomas, potencial de progressão e por afetar todas as variedades comerciais (GRAÇA, 1991). Atualmente, a doença HLB encontra-se disseminada em 176 municípios do estado de São Paulo, um município de Minas Gerais e dois municípios do Paraná (FUNDECITRUS, 2008).

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem o entendimento da evolução espaço-temporal da doença, assim como, a previsão de como a doença irá se comportar a médio prazo através de ferramentas geoestatísticas e inteligência artificial.

2.3. MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1. Bases de dados

O Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS, 2008) realiza periodicamente levantamentos amostrais de pomares citrícolas no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro visando verificar a incidência de plantas com sintomas de Huanglongbing (HLB). Em outubro de 2004 foi realizado o primeiro levantamento,

no qual inspecionou-se 5% dos talhões, amostrando-se 20% do total de plantas de cada talhão sorteado. O segundo levantamento foi realizado no período de março a julho de 2007 e o terceiro entre março a abril de 2008 quando foram inspecionados 10% dos talhões e 10% das plantas das quadras amostradas. Neste último levantamento foi também analisada a porcentagem de plantas doentes nos talhões. A inspeção é realizada caminhando-se uma rua a cada dez para o caso da inspeção de 10% de plantas e duas delas a cada dez para o caso de 20%. (BARBOSA et al.,2008).

A base de dados disponibilizada pelo FUNDECITRUS é composta pelas seguintes colunas: município, estado, ano, idade (0: 0-2 anos; 1: 3-5 anos; 2: 6-10 anos; 3: > 10 anos; 4: todas as idades), número de talhões, número de árvores, número de talhões contaminados, porcentagem de talhões contaminados e erro padrão. Os dados referentes ao número de árvores contaminadas não foi utilizado, uma vez que esta informação foi levantada somente no ano 2008. Outra fonte de dados empregada no trabalho foi a base oficial de municípios brasileiros do ano de 2007 disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008). Este banco de dados trata-se de uma base do tipo espacial, ou seja, entre os diversos atributos que a compõe existe um que representa os polígonos dos municípios, sendo que neste caso as coordenadas foram fornecidas no sistema de coordenadas geográficas no *Datum* Sirgas 2000.

Para o desenvolvimento do presente trabalho as bases foram unificadas através da chave nome do município e estado, sendo que nos casos onde não houve coincidência foi atribuído valor nulo, o qual foi ignorado, para fins de computação. Como a geoestatística necessita de pontos ao invés de polígonos, foi calculado o centróide de cada município que por sua vez foi projetado para o sistema de coordenadas policônicas no *Datum* SAD1969, onde as coordenadas são expressas em metros ao invés de graus, o que proporciona uma análise mais clara dos semivariogramas da análise geoestatística.

2.3.2. Geoestatística

Para estimativa da incidência da doença ao longo do estado de São Paulo, foram gerados mapas geoestatísticos de todas as combinações envolvendo idade de plantas, anos de levantamento. O processo de criação destes mapas contempla a aplicação de todas as combinações aos processos de modelagem dos semivariogramas, krigagem, geração dos mapas de erro padrão e remoção das células com erro superior a 15%. Para as análises geoestatísticas e operações com os mapas foi utilizado o pacote ArcInfo® 9.3 com as extensões “Geostatistical Analyst” e “Spatial Analyst” da produtora ESRI®.

2.3.2.1. Modelagem dos semivariogramas

Para facilitar a observação de anisotropia foram elaborados mapas de variogramas (Figura 5), que expressam o comportamento da incidência da doença, através de um gráfico de distância dos passos e a medida da média da semivariância dos pares, onde o ponto central do mapa de variograma indica a distância zero. Conforme se observam os valores de semivariância pela direção escolhida, do centro do mapa a um dos seus lados, considerando o ângulo formado entre o eixo vertical (norte) e a direção observada tem-se uma idéia da variabilidade da variável estudada.

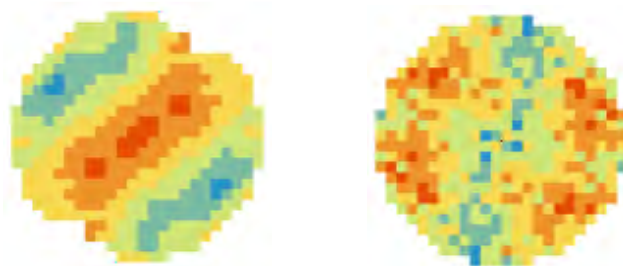


Figura 5 – Exemplos de mapas de variogramas utilizados para observação de anisotropia. Na figura à esquerda é observado um mapa onde existe uma maior continuidade na direção NE-SW, enquanto que no mapa apresentado na Figura da direita esta continuidade não é observada de forma clara (Jaboticabal, 2008).

Nos casos onde seja necessária a construção de um variograma direcional foram definidos através da observação do mapa de variograma os parâmetros: direção do variograma, tolerância angular, tamanho do passo, tolerância do passo e largura da banda (Figura 6). Onde a direção do variograma diz respeito à direção em que são tomados os pares de pontos para o cálculo do variograma. Numa malha irregular há que se admitir uma tolerância angular, pois os pares podem ter um desvio em termos de seus ângulos. O tamanho do passo é a distância entre os pontos para definição dos pares que terão a semivariância calculada. Nesse caso, também é necessária uma tolerância para que não se percam pontos. A largura de banda é uma distância que servirá para restringir o número de pontos a serem pareados.

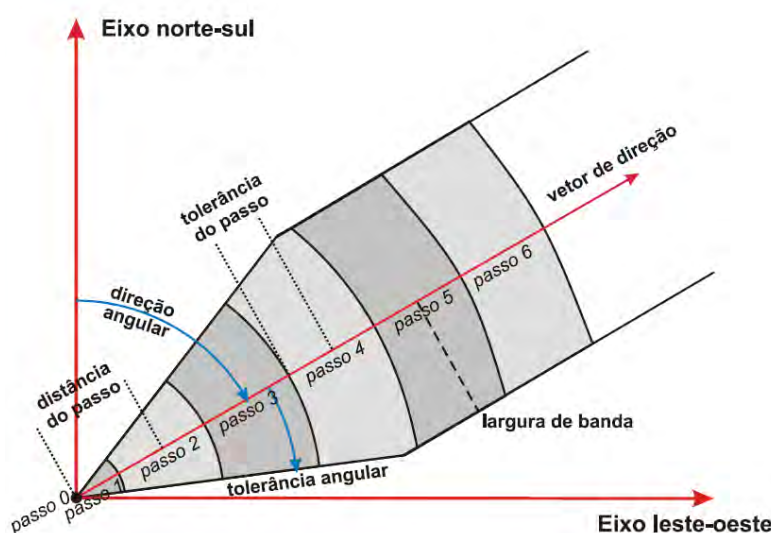


Figura 6 – Parâmetros para variograma direcional (MONTEIRO, 2003).

Após a definição se o variograma for do tipo direcional ou omnidirecional será confeccionado o gráfico do semivariograma experimental, de tal forma que o eixo das abscissas denotará as distâncias enquanto que o eixo das ordenadas receberá a semivariância. A partir do variograma experimental calculado deve ser ajustado o modelo de variograma. O ajuste é dado pela estimativa dos parâmetros do variograma ao variograma experimental com ajuste inicial através de regressão

pela minimização dos quadrados e em seguida ajuste manual dos parâmetros, de modo a se obter um ajuste ótimo e que represente a realidade biológica.

2.3.2.2. Krigagem

Para a geração do mapa de estimativa dos valores de incidência de HLB foi utilizada a técnica de krigagem universal. Tal metodologia se mostra adequada ao estudo de processos biológicos, pelo fato de tais fenômenos contemplarem a hipótese intrínseca da não estacionaridade. Para definição da vizinhança utilizada para estimativa de um ponto foi utilizado um raio de procura 20% maior que a amplitude do campo estruturado dos semivariogramas, enquanto que o número de setores angulares a ser utilizado será de quadra, uma vez que existem pontos em todas as direções o que provê uniformidade ao redor do ponto desconhecido a ser estimado. O número de pontos utilizados para estimativa do valor da incidência da doença em uma coordenada foi de no mínimo 5 e de no máximo de 10 pontos.

Finalmente, para encerrar o processo de krigagem foi gerado o mapa do erro padrão da krigagem, onde as células com valor superior a 15% tiveram as células correspondentes no mapa de estimativa removidas.

2.3.3. Redes neurais

Para a previsão espaço-temporal da incidência da doença não foi incorporada a variável idade nos modelos, uma vez que a adição dessa e outras variáveis poderia vir a dificultar sua convergência. Portanto, treinou-se uma rede neural para cada grupo de idade. Na previsão da dispersão espacial do HLB o modelo de rede neural empregado foi o *perceptron* de múltiplas camadas com topologia 3 x 10 x 10 x 1 (Figura 7), onde a camada de entrada foi composta pela latitude, longitude e o ano, enquanto que, a camada de saída foi representada pela incidência da doença naquela coordenada e ano.

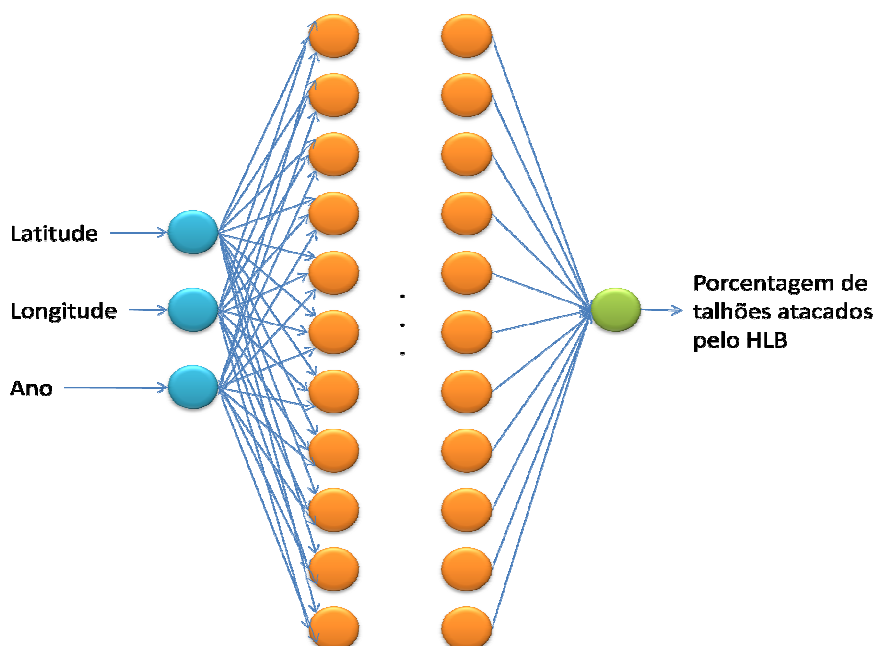


Figura 7 – Rede neural do tipo *perceptron* de múltiplas camadas utilizada para estimar a incidência de HLB, onde os círculos azuis representam os neurônios da camada de entrada, os alaranjados os da camada oculta e o verde a camada de saída. Os três pontos entre as camadas ocultas representam as conexões entre os neurônios (Jaboticabal, 2008).

As funções de ativação dos neurônios da rede neural foram do tipo tangente hiperbólica, que proporciona um domínio entre -1 e 1. Essa heurística facilita a convergência do modelo. A exceção se deu na camada de saída onde a função de ativação foi do tipo logística pelo fato de seu domínio se situar no intervalo 0 e 1, o mesmo da incidência da doença. Para fins de treinamento das redes neurais os pesos sinápticos foram inicializados com valores aleatórios com distribuição estatística próxima à uniformidade com domínio entre -1 e 1. Foi utilizado o algoritmo da propagação elástica do erro com valor mínimo de variação dos pesos sinápticos igual 0,001 e máximo 500, enquanto que a taxa de aprendizado foi de 18 tanto para os valores negativos como positivos. O número de épocas de treinamento foi de pelo menos 20.000 iterações, sendo, porém este valor passível de variação em função do indicador de erro do processo de treinamento, no caso a somatória dos erros ao quadrado.

Todos os dados das variáveis dependentes e independentes foram normalizados para conterem valores entre 0 e 1 através de escala linear. Tal procedimento é importante, pois as coordenadas, o ano e a porcentagem de talhões contendo plantas sintomáticas possuem amplitudes muito diferentes, o que dificulta a convergência. Após o término do processo de treinamento das redes neurais foi fornecida uma base de dados de produção composta por 30.000 casos que compreendem o intervalo de longitudes de 5.799.360 a 5.241.276 espaçados 5.580 m e o intervalo de latitudes situadas entre 7.313.020 e 7.905.291 com intervalo de 5.983 m. Esta base de dados foi normalizada para o domínio 0 e 1 e após aplicação à rede neural os valores resultantes de incidência foram escalonados para o domínio 0 e 100%.

2.3.4. Validação cruzada

Uma vez realizadas as estimativas dos valores de incidência de HLB pelos modelos geoestatísticos e pelas redes neurais, foi realizada a validação cruzada dos dados, através de regressão linear entre os dados reais e previstos pelos modelos (Figura 8). Embora as boas práticas recomendem a separação aleatória de 25% dos dados em um subconjunto exclusivo para a validação cruzada esta heurística não foi utilizada em função da pequena quantidade de dados e do possível impacto causado por um dado perdido nos modelos. Além disso, em tal modelagem aplicam-se dados espaciais sem repetições na combinação posição geográficas e ano.

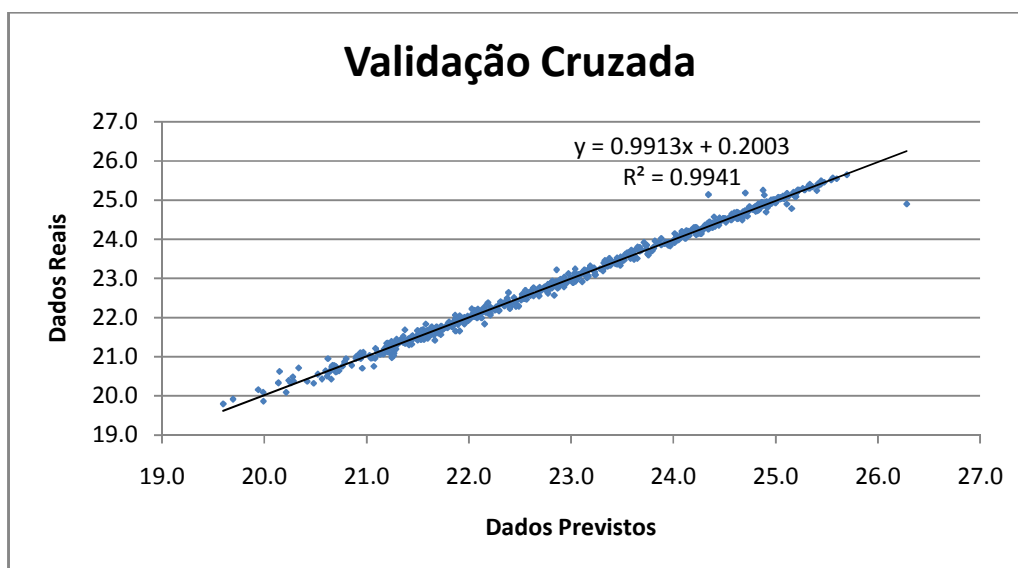


Figura 8 – Exemplo de gráfico de validação cruzada de um modelo utilizado para avaliar sua acurácia (Jaboticabal, 2008).

2.3.5. Estatística zonal

Uma vez desenvolvidos os modelos e gerados os mapas foi calculada a média zonal (Figura 9) dos talhões que compõe a classe de idade e ano estudados estratificados nas mesorregiões do estado de São Paulo. Esta estatística consiste no cálculo do valor médio das células dos mapas de incidência que estão dentro de cada polígono de cada talhão (Figura 10), fornecendo um diagnóstico da exposição do cinturão à doença.

2.3.6. Previsão

As redes neurais artificiais, pelo fato de serem sistemas bioinspirados possuem a capacidade de aprender padrões e partir daí generalizar em situações desconhecidas (HAYKIN, 2001). Desta forma é esperado que as redes neurais incorporem o comportamento do padrão espacial da incidência de HLB em sua estrutura de pesos sinápticos. Uma vez treinada a rede neural deverá ser capaz de descrever a incidência da doença para os casos já estudados, e prever como ela se comportará no futuro. Neste estudo foi fornecido às redes neurais um padrão que cobre as coordenadas do estado de São Paulo enquanto que o valor da entrada correspondente ao ano teve seu valor normalizado para a safra 2009. Uma vez gerados os mapas de incidência da doença foi analisado se eles se comportaram de forma lógica, ou seja, se desenvolveram em um passo no tempo o padrão de crescimento da epidemia descrito pela geoestatística.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. Semivariograma

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da modelagem dos variogramas experimentais, onde o efeito pepita, que representa o efeito aleatório que não pode ser explicado pelos modelos, é apresentado como o termo que é somado à função esférica. Ao se analisar sua evolução no tempo através do valor médio é notada uma evolução onde o efeito aleatório cresce ao longo do tempo. Tal resultado é explicado pelo fato dos levantamentos amostrais serem mais abrangentes, em termos de municípios, a cada ano. O que por consequência aumenta a variabilidade dos levantamentos. Entre os valores médios entre as faixas de idade não é observado um padrão, o que demonstra a aleatoriedade entre a variabilidade das faixas. Um ponto interessante no efeito pepita em relação às faixas de idade é que a faixa que contempla todas as idades apresenta a menor

causa de efeitos não explicados. O que demonstra que esta faixa é que apresentará a melhor explicação da inter-relação entre as amostras.

Tabela 1 – Modelos de variogramas experimentais da incidência de Huanglongbing em citros em municípios do estado de São Paulo e Triângulo Mineiro, estratificados em cinco faixas de idade e em três avaliações (Jaboticabal, 2008).

Idade	Anos			Média
	2004	2007	2008	
0 a 2	43,30Sph(122.920)+2,64	115,4Sph(143.360)+29,9	203,5Sph(154.510)+88,31	120,7Sph(140.263)+40,3
3 a 5	204,0Sph(111.370)+30,2	290,7Sph(126.460)+73,1	332,7Sph(148.120)+121,4	275,8Sph(128.650)+74,9
6 a 10	95,09Sph(88.707)+28,0	306,6Sph(140.990)+82,8	383,2Sph(139.930)+91,9	261,6Sph(123.209)+67,6
> 10	71,05Sph(97.738)+12,2	165,2Sph(130.930)+56,1	332,8Sph(137.760)+57,2	189,7Sph(122.143)+41,8
Todas	0,756Sph(105.370)+0,22	1,800Sph(112.610)+0,83	336,7Sph(110.320)+52,5	113,1Sph(109.433)+17,9
Média	82,83Sph(105.221)+14,7	175,9Sph(130.870)+48,5	317,8Sph(138.128)+82,3	192,2Sph(124.739)+48,5

* Função esférica representada por : $\gamma(h) = (3h/a - h/a)/2$ para $h \leq a$ ou $\gamma(h) = 1$ para $h > a$

Analisando-se o valor da amplitude, que representa o ponto onde ocorre a transição entre o efeito totalmente aleatório (representado pelo nível do patamar) e a fase de influência, nota-se que esse é apresentado como o parâmetro da função esférica. Como os cálculos foram realizados com coordenadas projetadas, que são apresentados em metros ao invés de graus, pode-se entender que este valor representa a distância euclidiana máxima de influência entre duas coordenadas.

Na Figura 11 são apresentados os dados relativos a evolução do parâmetro alcance ao longo das faixas de idade. Neste gráfico nota-se que apesar do valor médio do parâmetro alcance entre as faixas de idade não ser estatisticamente significativo (Tukey, $p \geq 0,05$) é possível observar um padrão onde a faixa de idade 0 a 2 anos é a que apresenta maior alcance, ou seja, até 140 km um ponto tem influência em outro. Já na faixa de idade com mais de 10 anos esta distância cai para 122 km, enquanto que o menor valor ocorre na faixa que contempla todas as plantas. Este efeito deve-se ao fato de plantas jovens serem mais susceptíveis à doença, sofrendo maior influência de pomares próximos, quando contaminados.

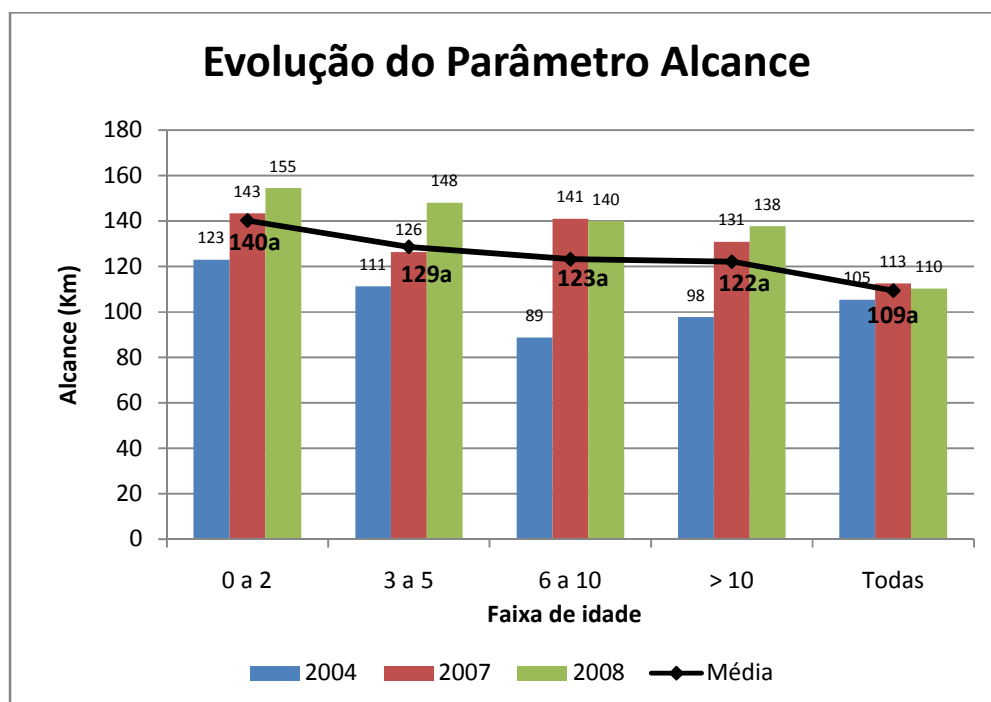


Figura 11 – Evolução do parâmetro alcance dos semivariogramas da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas em diversas faixas etárias, estratificado em três anos. Nas colunas são apresentados os valores que compõem a média, que por sua vez é representada pela linha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$) (Jaboticabal, 2008).

A evolução do parâmetro alcance ao longo do tempo encontra-se apresentada na Figura 12. Observa-se, conforme tal figura, que no ano de 2004 o alcance estava em 105 km o qual, após 4 anos, em 2008, evoluiu para 138 km, sendo estes valores estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Este aumento significativo do alcance entre os levantamentos, entre os anos 2004 e 2008, se deve ao engajamento do setor produtivo, especialmente pela conscientização dos produtores, neste período.

Entre os anos 2007 e 2008 é observada uma tendência de estabilização do parâmetro onde as médias não diferiram estatisticamente. Novos levantamentos amostrais que devem ser realizados nos próximos anos devem possibilitar à verificação da estabilização do parâmetro. Este comportamento é resultado das

ações de controle e manejo da doença que vêm sendo empreendidos nos últimos anos.

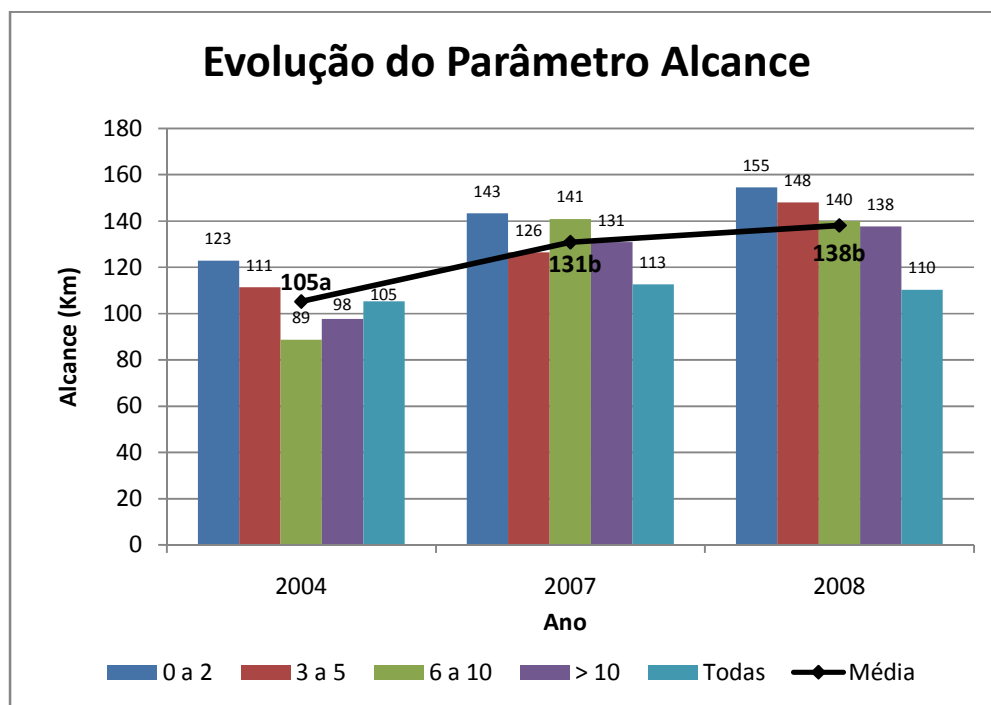


Figura 12 – Evolução do parâmetro alcance dos semivariogramas da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas de diversas faixas etárias estratificado em três anos. Nas colunas são apresentados os valores que compõem a média que, por sua vez, é representada pela linha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$) (Jaboticabal, 2008).

O efeito pepita relativo ($\epsilon = Co/C$) é uma indicação da aleatoriedade associada ao modelo (GUERRA, 1988). Este mesmo autor criou classes de variação dessa componente na tentativa de quantificar essa aleatoriedade onde:

$0 < \epsilon < 0,15$ – componente aleatória pequena;

$0,15 < \epsilon < 0,30$ – componente aleatória significativa;

$\epsilon > 0,30$ – componente aleatória muito significativa.

O extremo da ocorrência do efeito pepita, quando ε se aproxima do valor 1, define o modelo de efeito pepita puro, quando a covariância entre os pontos é nula. Nesse caso, a análise variográfica não se aplica (LANDIM, 2003) e a geoestatística não fornece vantagens em relações aos outros métodos de interpolação.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos efeitos pepita relativos obtidos na modelagem dos variogramas experimentais do ensaio. Nesta tabela é possível observar que o componente aleatório médio dos modelos nas faixas de idade é, de um modo geral muito significativo, porém este valor encontra-se distante do valor 1, ou seja, apesar de muita variação mostra-se inexplicável, o modelo ainda é válido. Ao analisar os valores médios ao longo dos anos nota-se que estes ficam na faixa intermediária, ou seja, o efeito aleatório é significativo. De modo geral os valores do efeito pepita relativo são altos, porém não a ponto de inviabilizar o processo de krigagem.

Tabela 2 – Efeito pepita relativo da incidência de Huanglongbing em plantas cítricas em municípios do estado de São Paulo, estratificados em cinco faixas de idade e em três avaliações (Jaboticabal, 2008).

Idade	Ano			Média
	2004	2007	2008	
0 a 2	0,06	0,26	0,43	0,33
3 a 5	0,15	0,25	0,37	0,27
6 a 10	0,29	0,27	0,24	0,26
> 10	0,17	0,34	0,17	0,22
Todas	0,29	0,46	0,16	0,16
Média	0,18	0,28	0,26	0,25

2.4.2. Krigagem e redes Neurais

Da Figura 13 à Figura 27 são apresentados os mapas da incidência de HLB gerados a partir da krigagem dos valores do levantamento amostral realizado pelo Fundecitrus nos anos de 2004, 2007 e 2008, estratificados em quatro grupos de idade. Da Figura 28 até a Figura 42 são apresentados os mapas deste mesmo levantamento, porém estimado através de uma rede neural do tipo *perceptron* de múltiplas camadas, treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro. A

análise desses mapas mostra uma correlação maior com os dados do levantamento através da metodologia geoestatística. Os mapas gerados pelas redes neurais apresentaram uma taxa muito alta da incidência da doença para todos os casos estudados. Além disso, o padrão espacial não foi coerente na maioria dos casos.

Nos mapas gerados pela krigagem foram removidas as áreas que apresentaram erro superior a 20% no mapa de erros. Denota-se que, de um modo geral que tal remoção deu-se em pequena área, estando restrita às bordas, na maioria das vezes, o que confere confiabilidade aos mapas. De modo geral tais áreas compreendem os municípios onde não foram realizados levantamentos.

Analisando-se a evolução da porcentagem de talhões com plantas sintomáticas nos anos 2004, 2007 e 2008, em todos os grupos de idades, representados pelas Figura 13 a Figura 15, nota-se que, em 2004 inicialmente a doença mostrava-se restrita à região de Araraquara, estando os maiores índices em pomares localizados nos municípios de São Carlos e Luiz Antonio, com faixa de valores entre 3,22% e 6,75%. Já o ano de 2008 apresentou um crescimento exponencial, em termos de incidência e abrangência geográfica, sendo inclusive identificados novos focos nos municípios de Nhandeara e José Bonifácio, ambos localizados na região noroeste do estado. Nesse período, verificou-se que, em São Carlos, a incidência de plantas sintomáticas atingiu 86%.

Analisando-se os focos de acordo com extratos, observou-se, que no caso do município de Nhandeara, que a presença da doença foi verificada apenas em plantas pertencentes à classe inferior a 10 anos de idade. Tal fato, aparentemente deve-se à introdução da doença através de mudas, haja visto, o grande intercâmbio do comércio de mudas no estado de São Paulo.

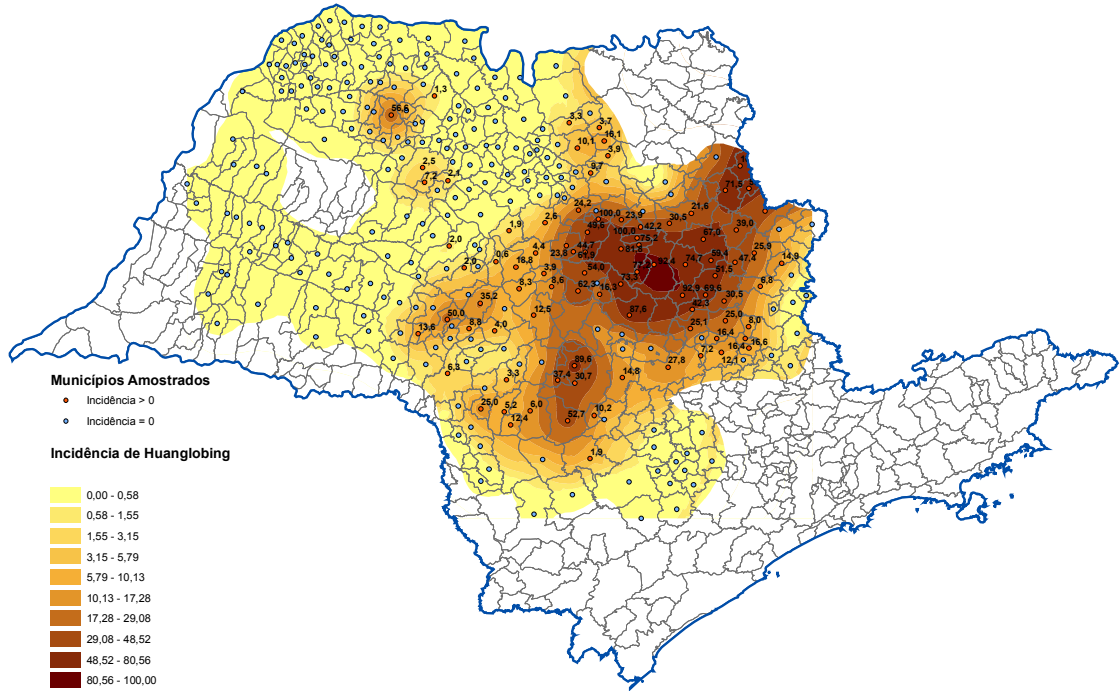


Figura 13 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

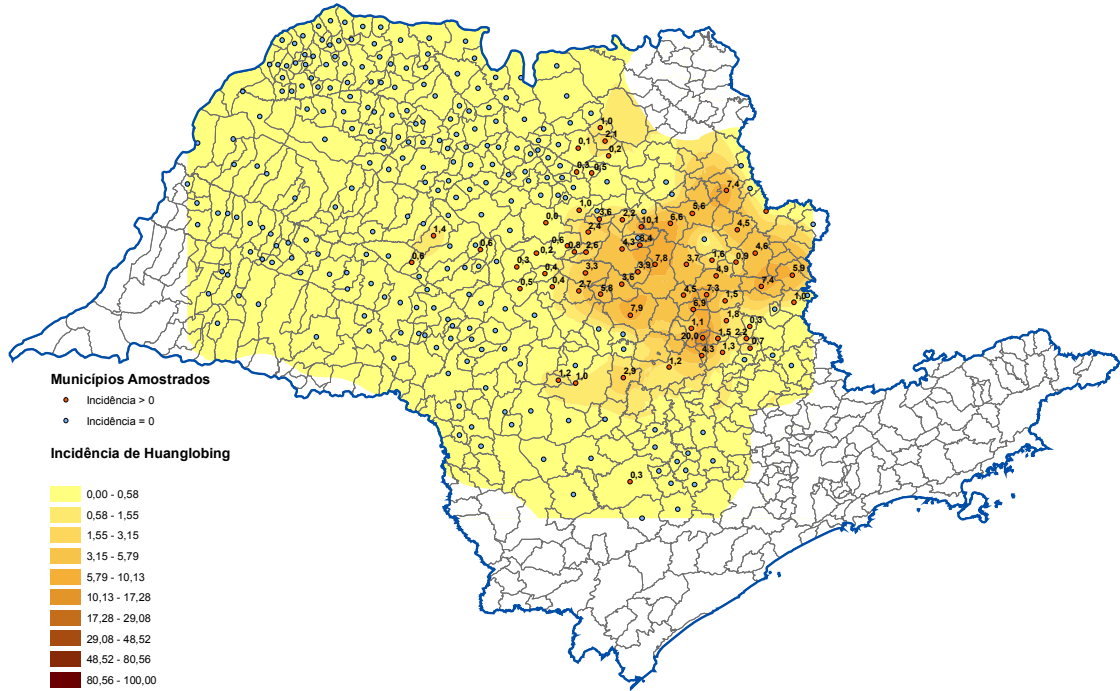


Figura 14 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

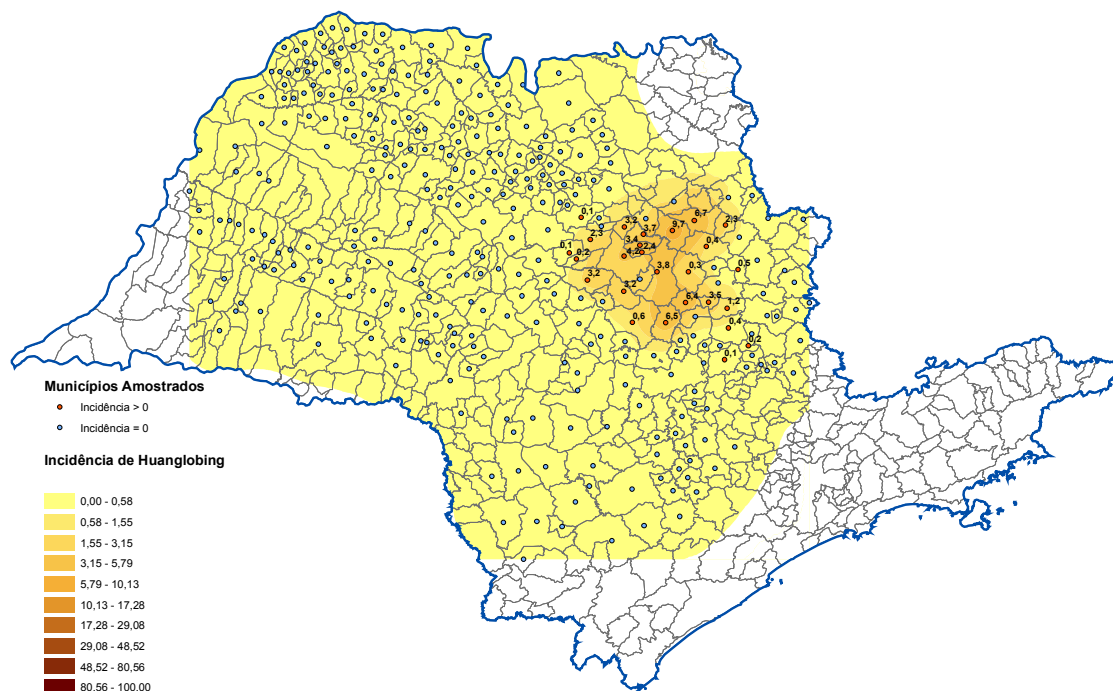


Figura 15 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

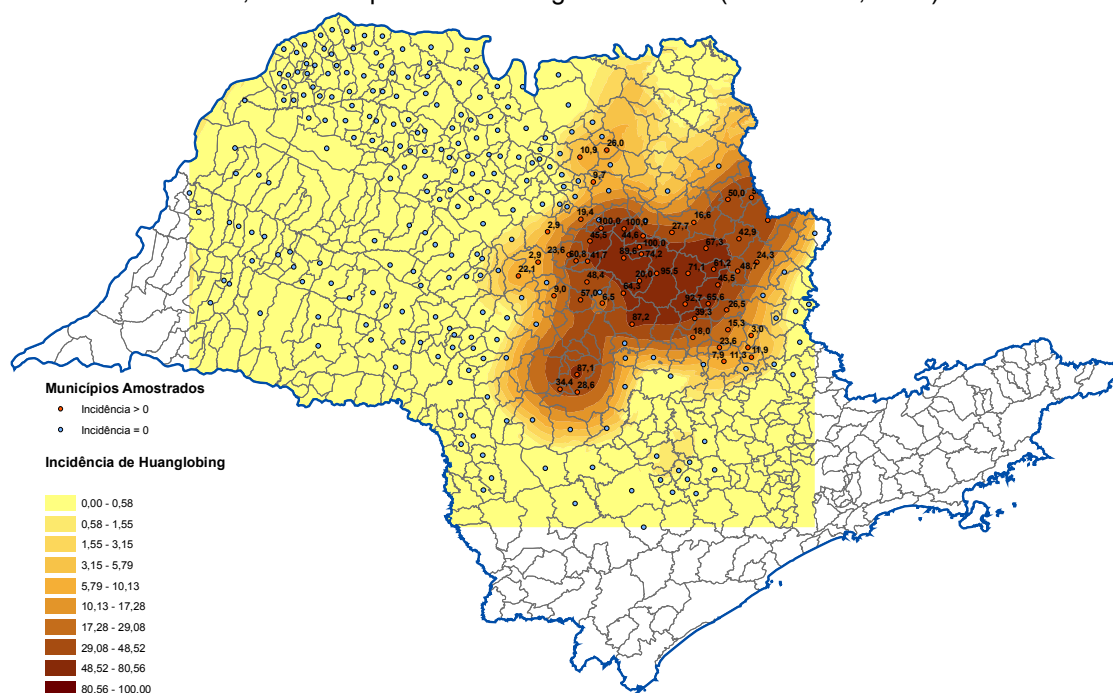


Figura 16 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

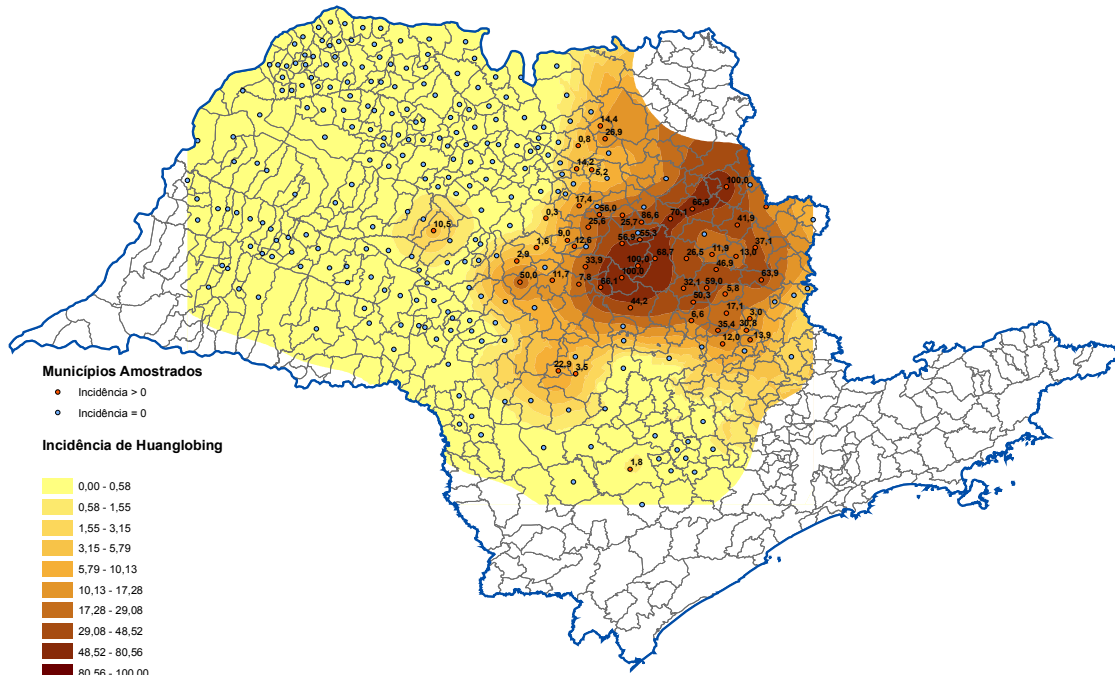


Figura 17 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

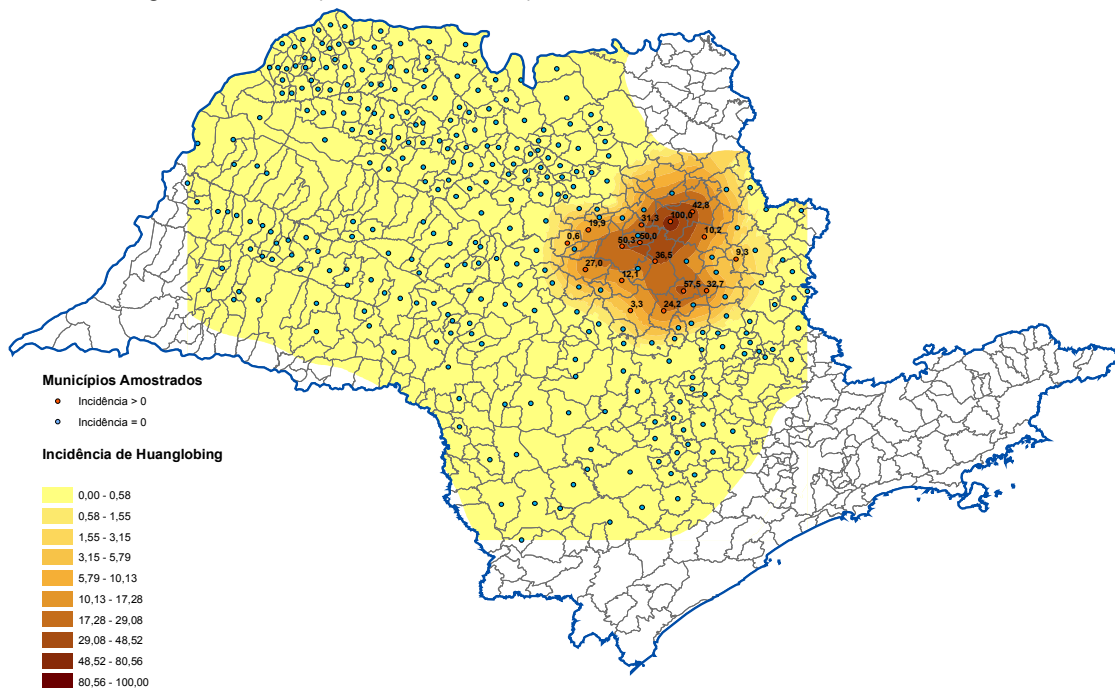


Figura 18 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

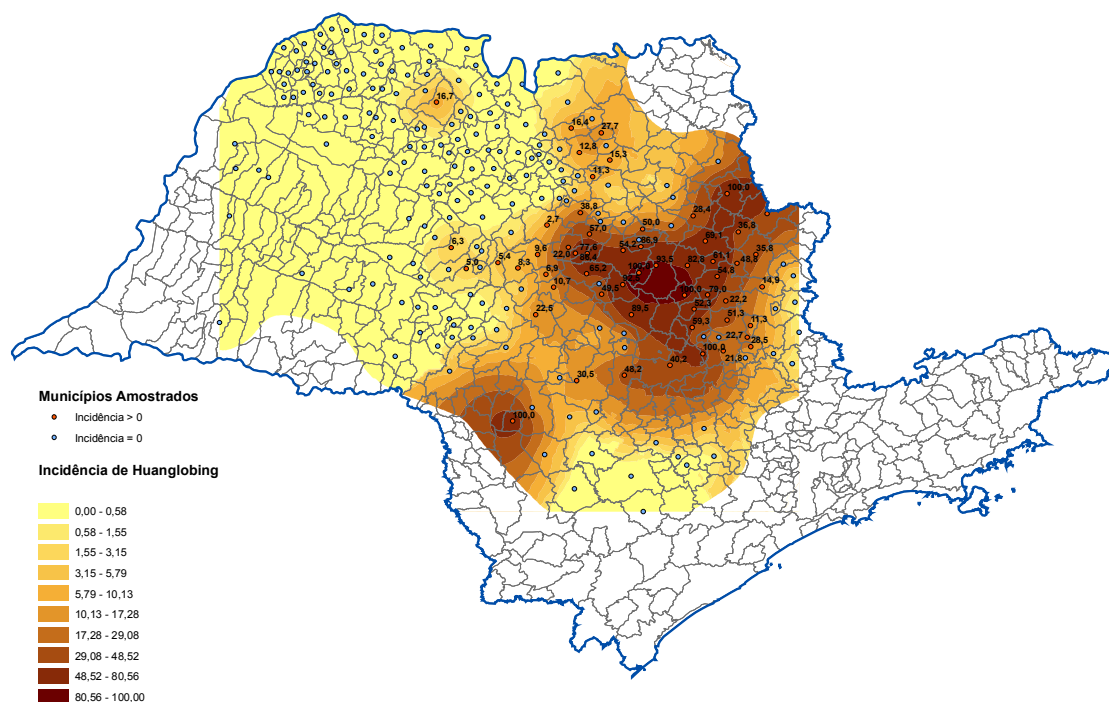


Figura 19 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

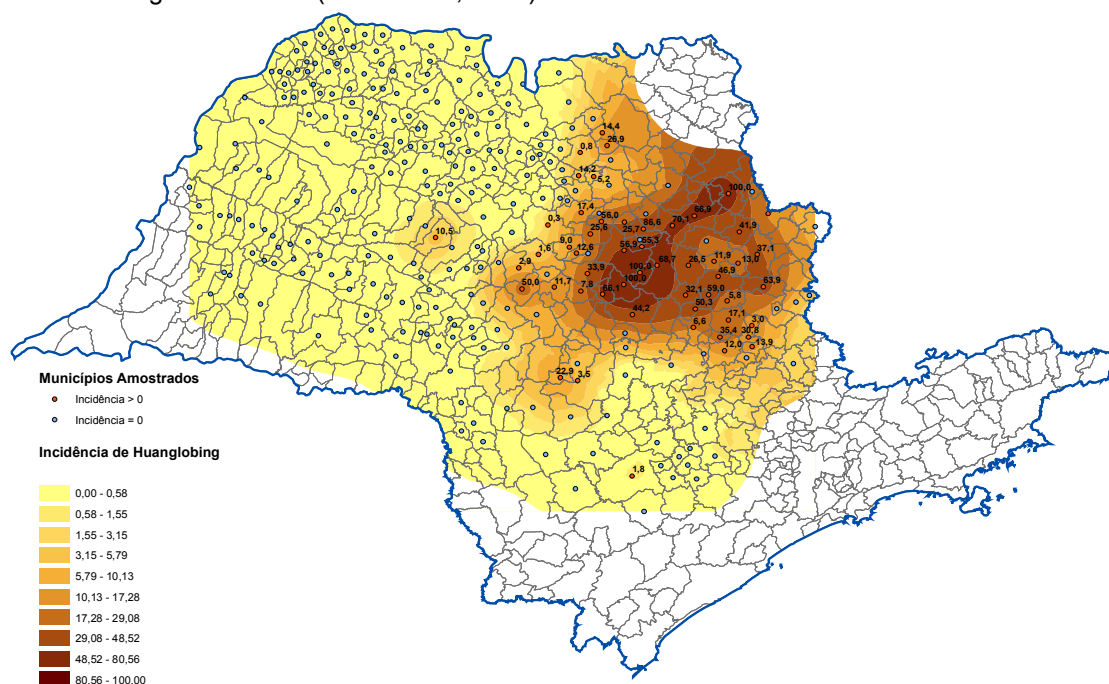


Figura 20 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

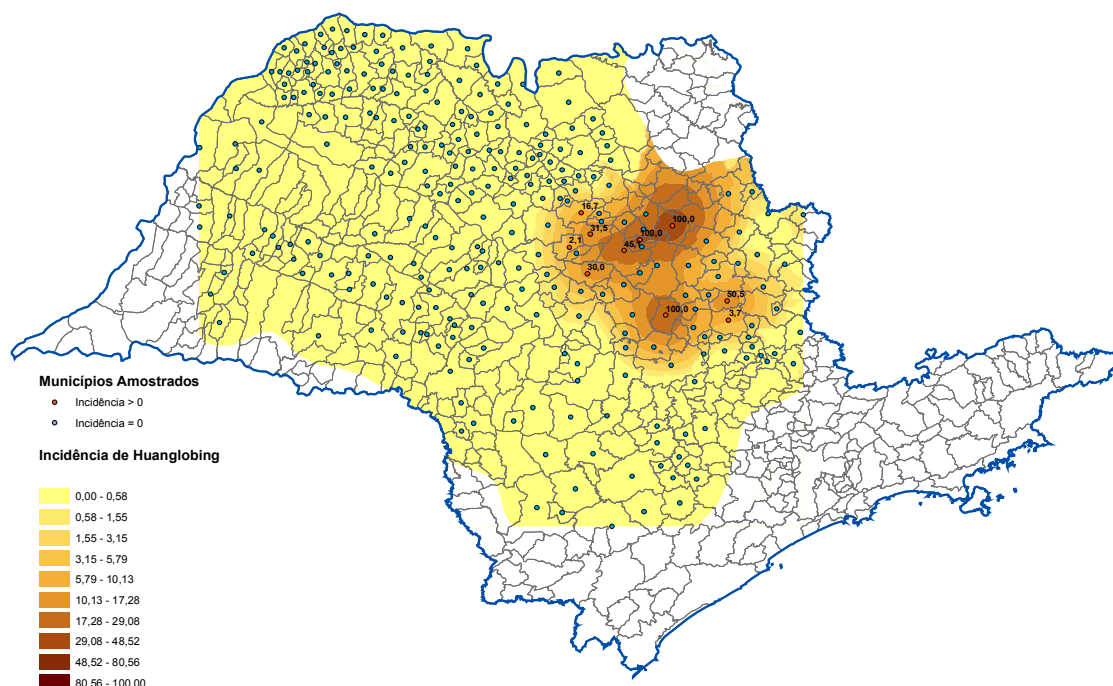


Figura 21 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

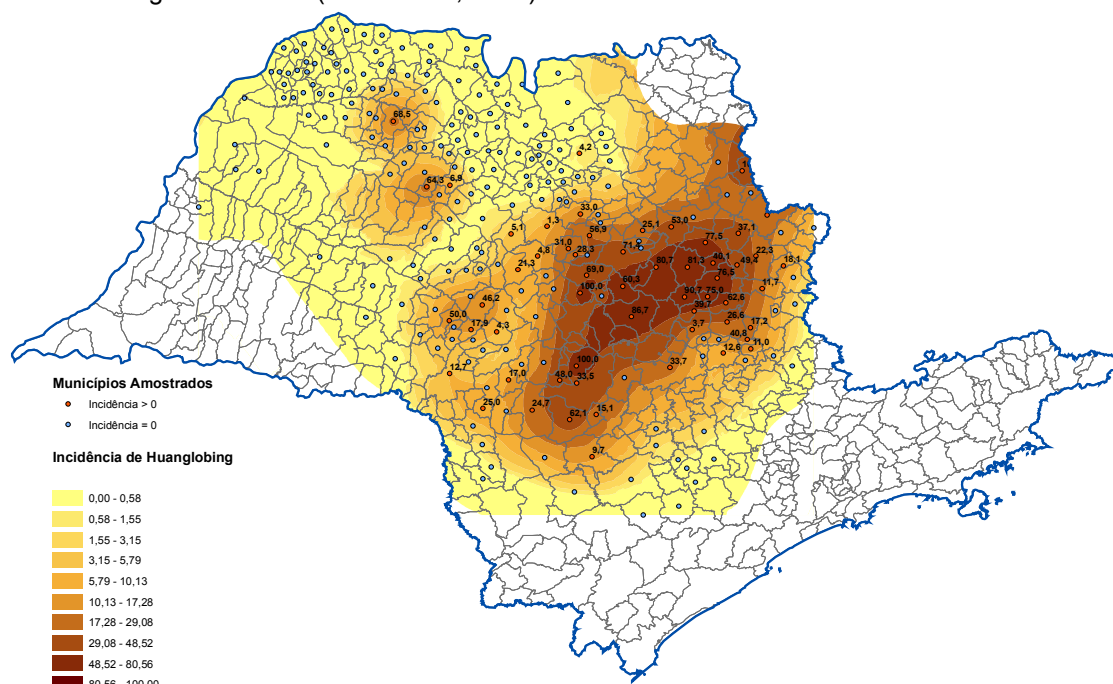


Figura 22 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

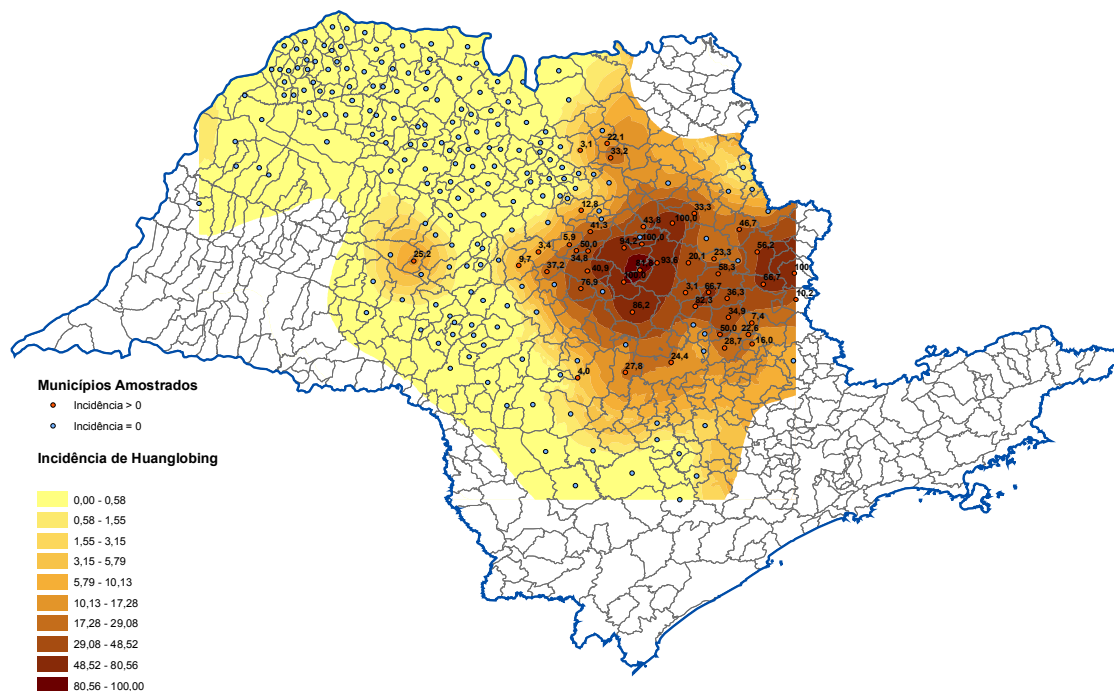


Figura 23 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

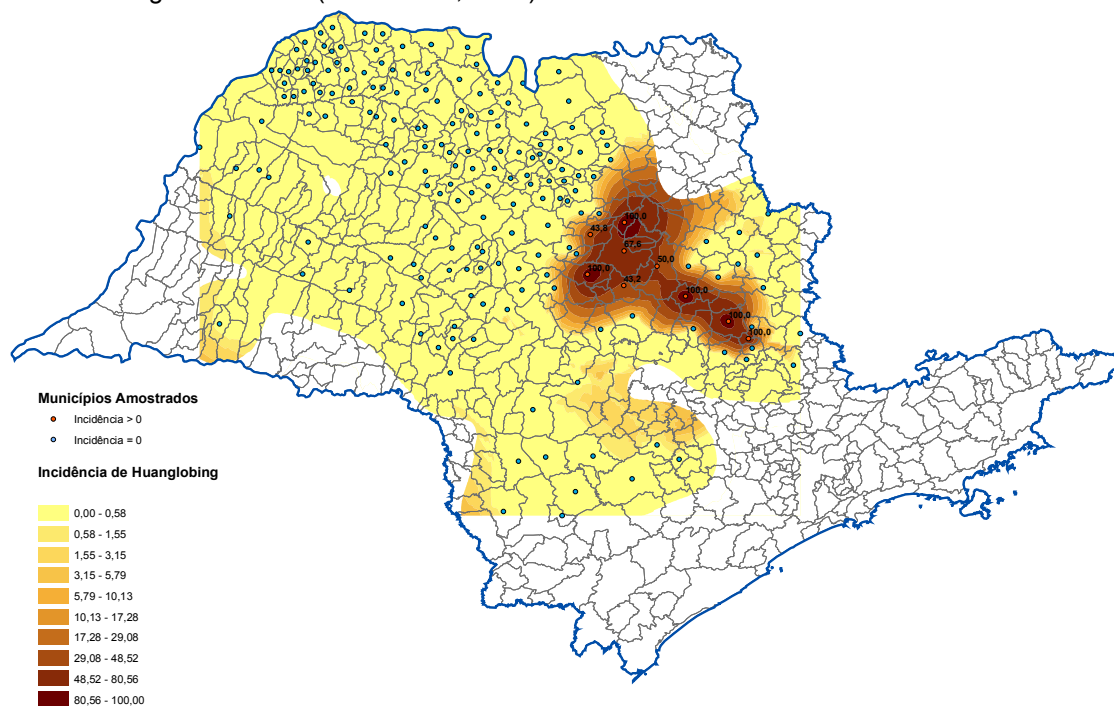


Figura 24 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

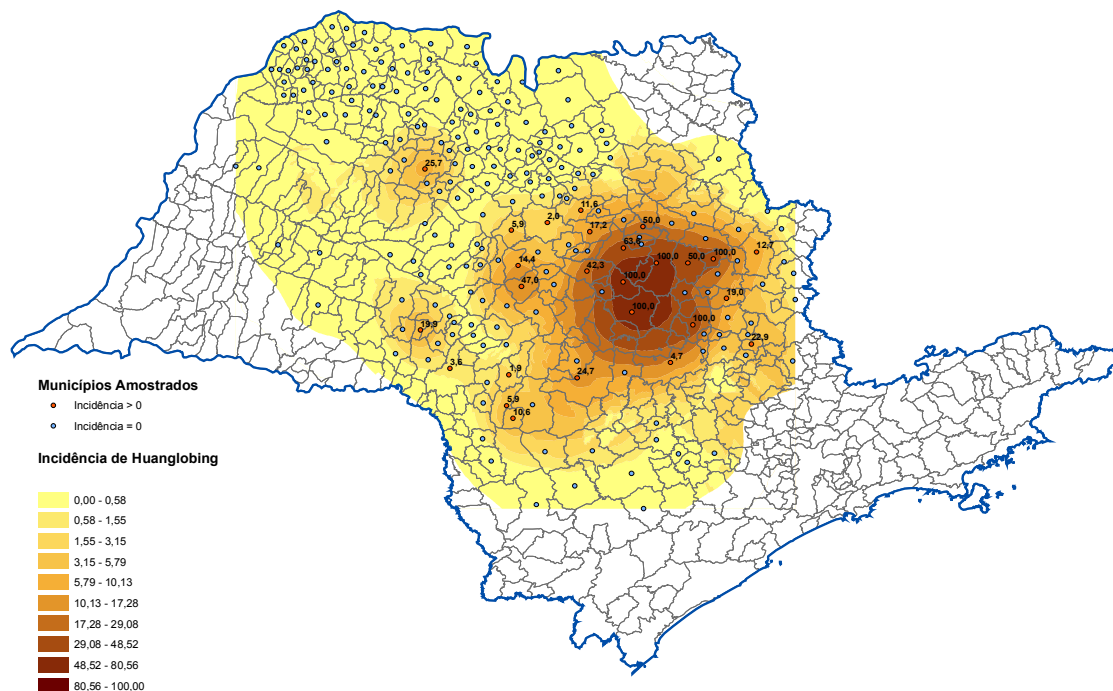


Figura 25 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2008, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

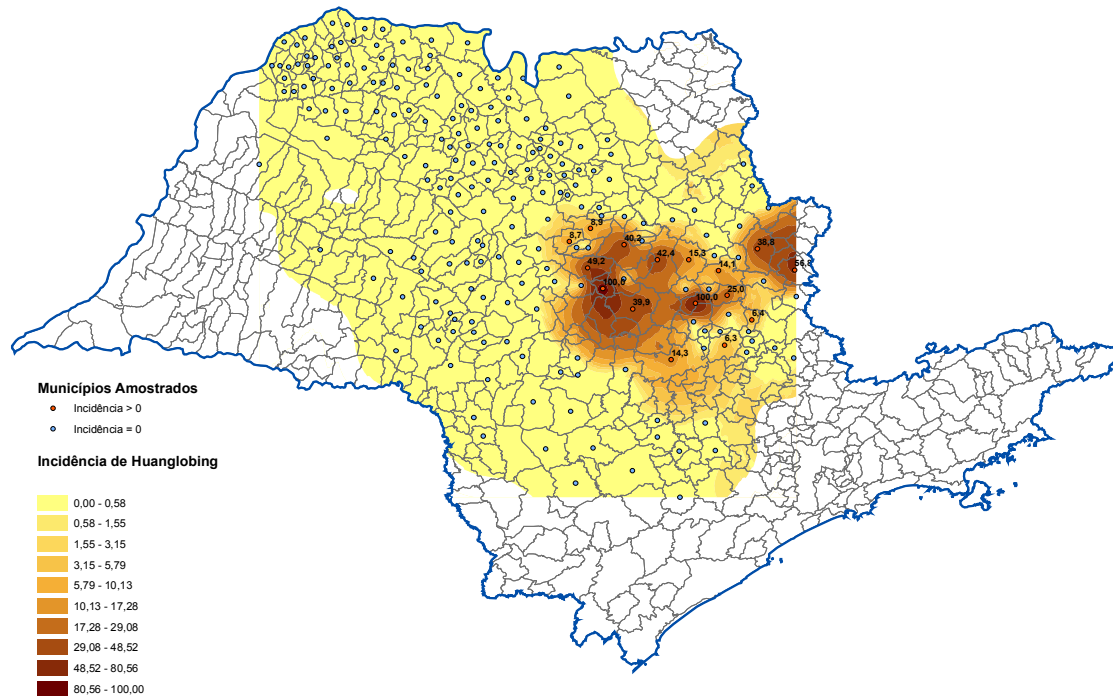


Figura 26 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2007, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

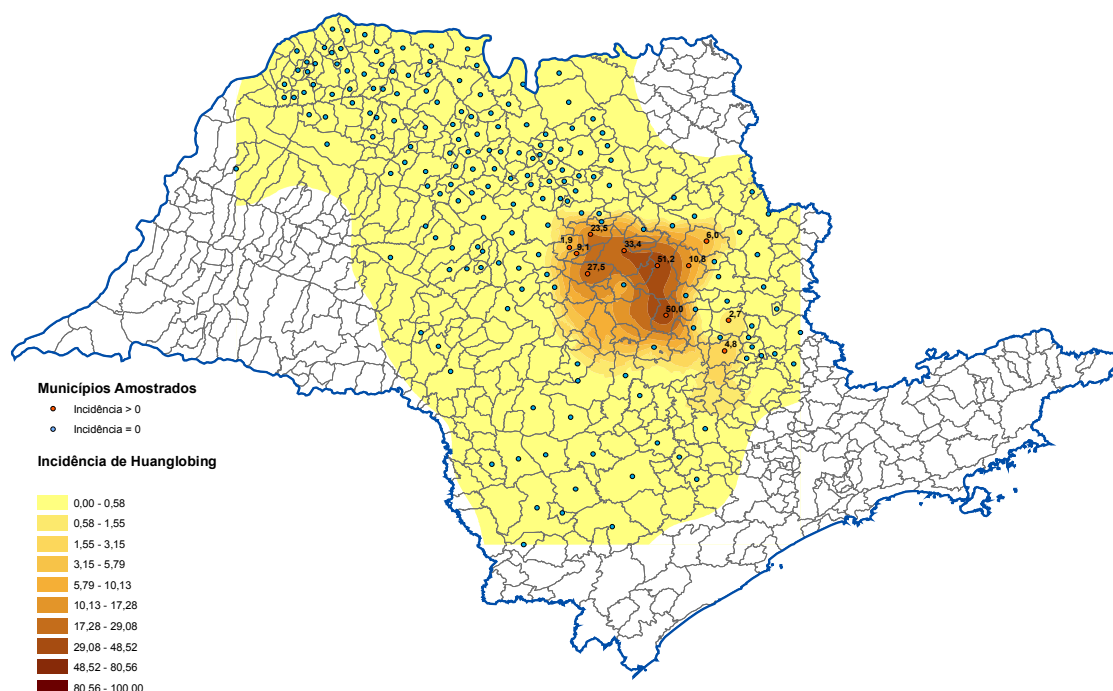


Figura 27 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing no estado de São Paulo, no ano de 2004, em pomares com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica da geoestatística (Jaboticabal, 2008).

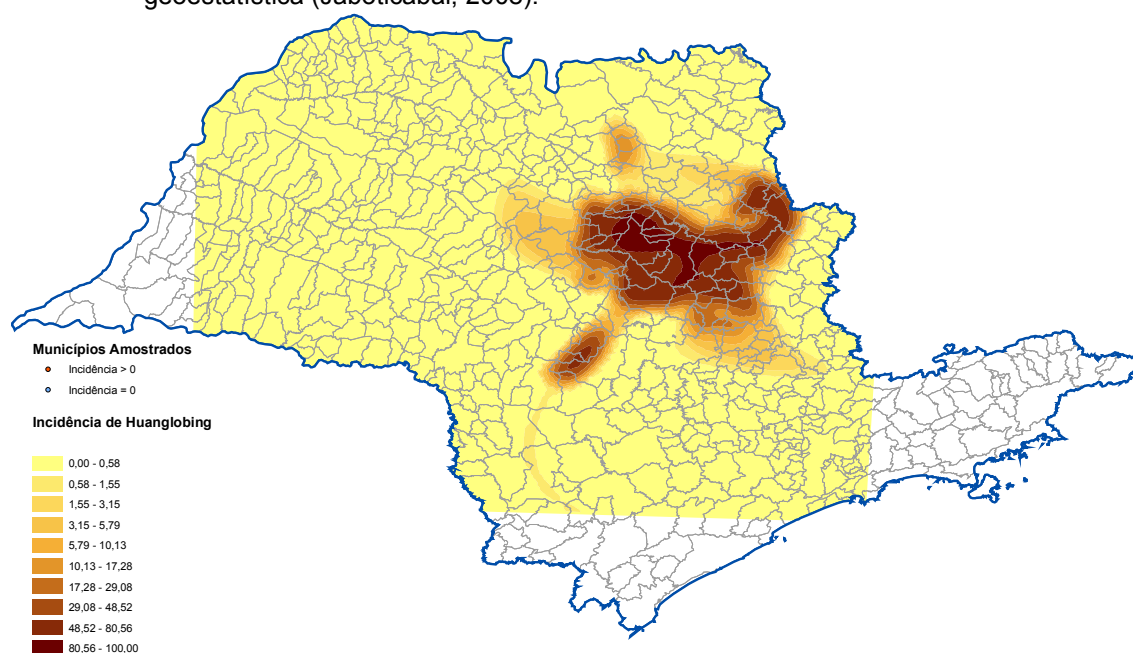


Figura 28 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

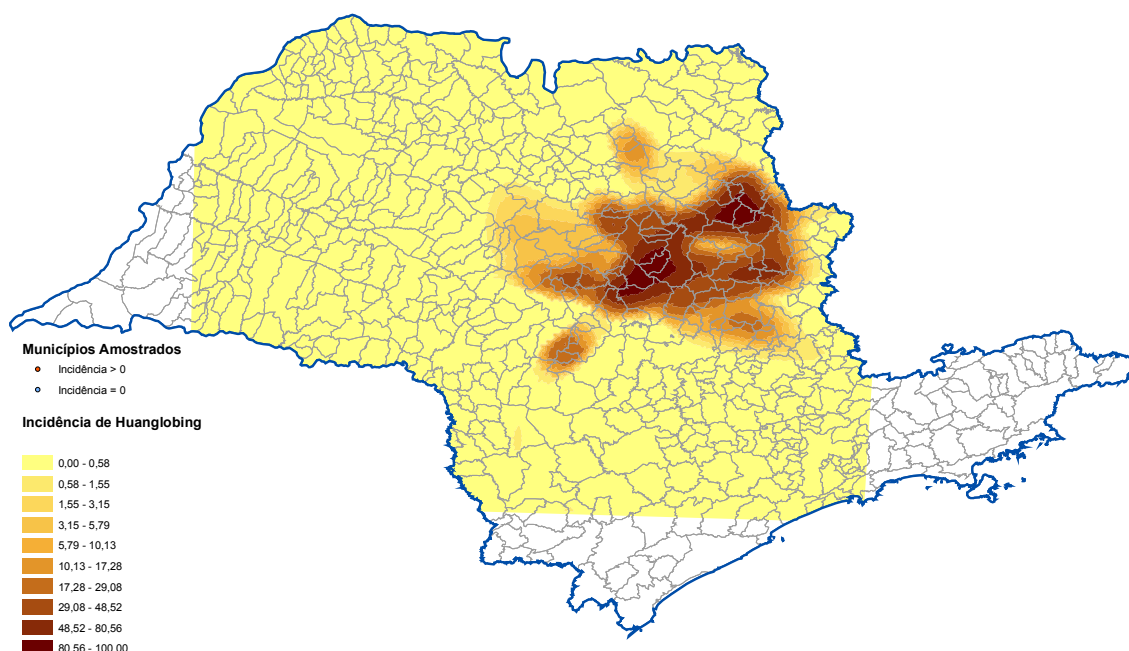


Figura 29 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

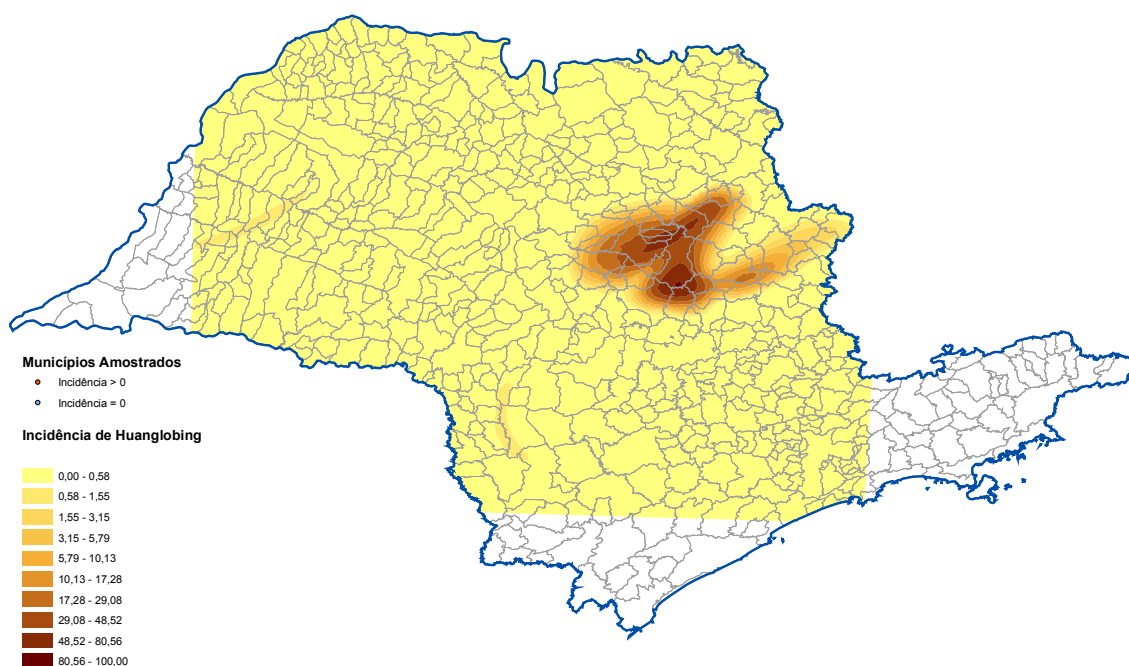


Figura 30 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

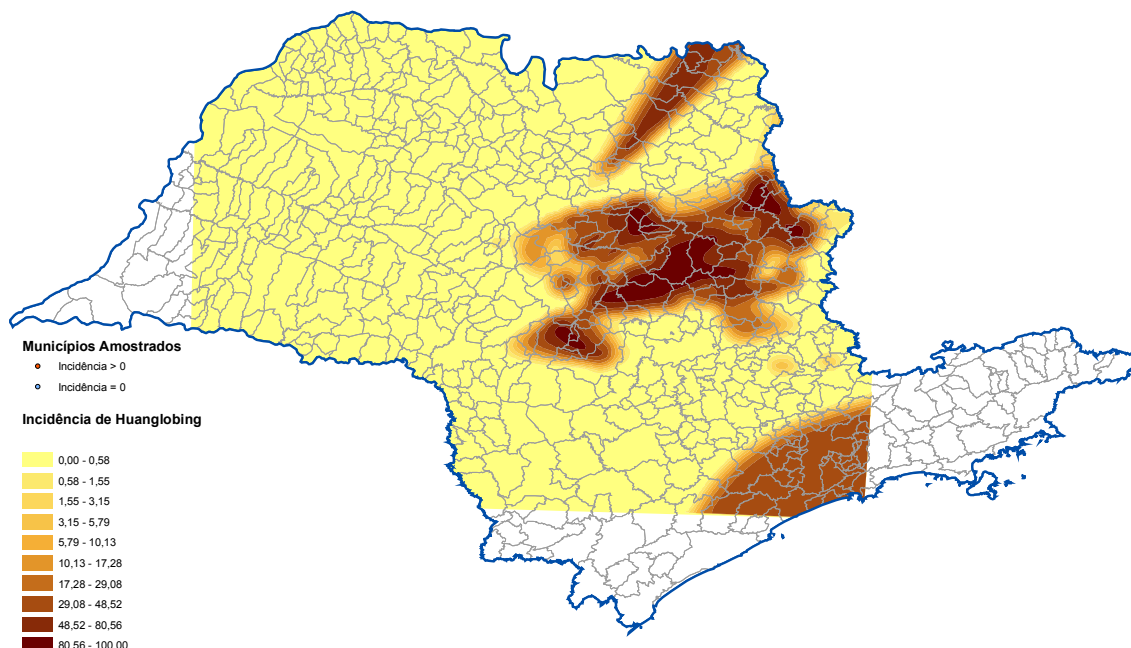


Figura 31 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

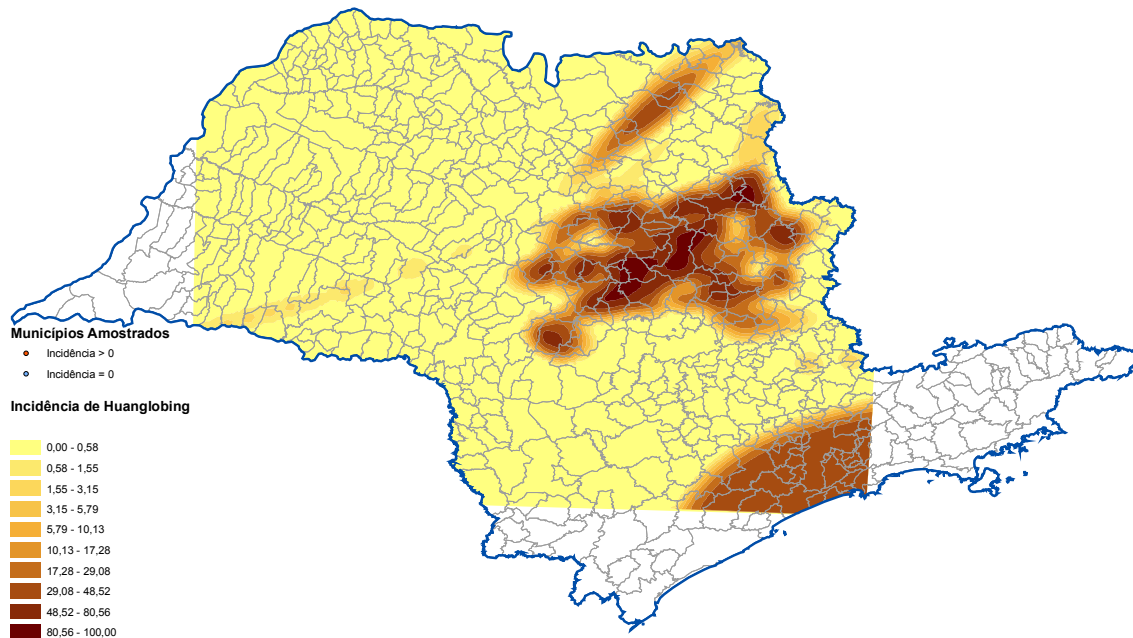


Figura 32 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

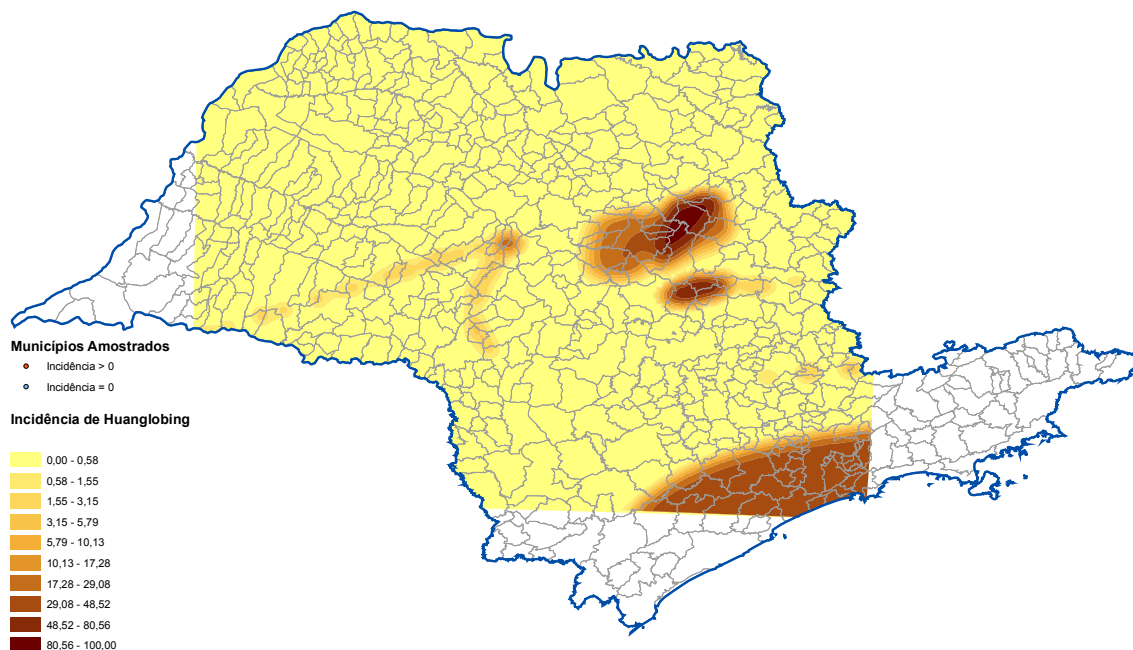


Figura 33 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade superior a 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

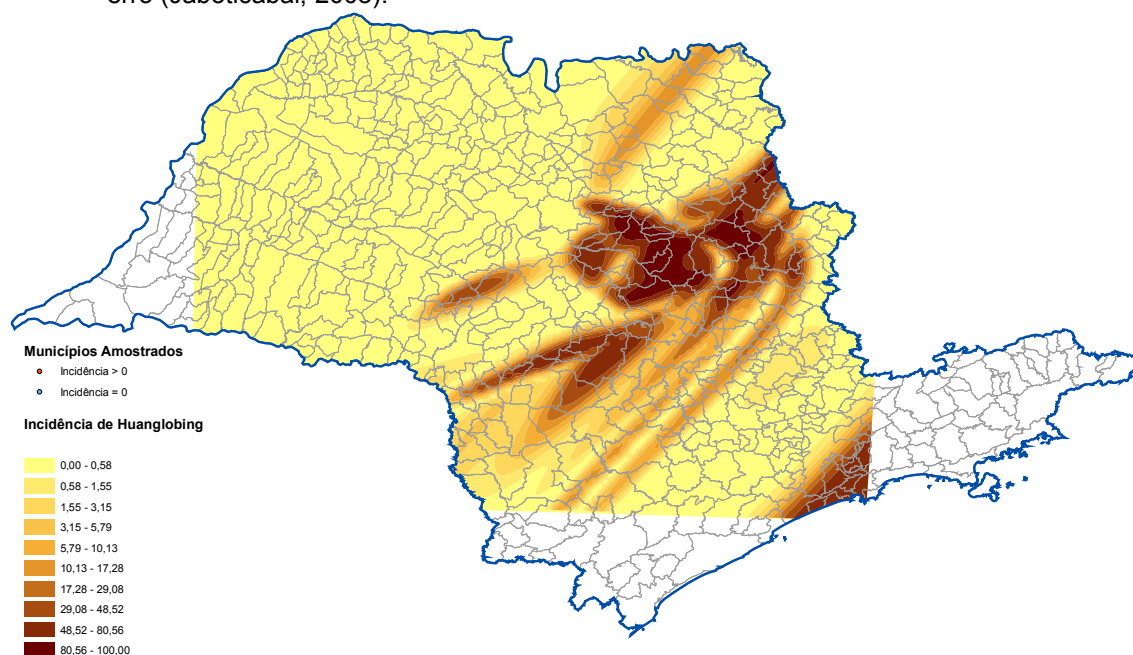


Figura 34 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

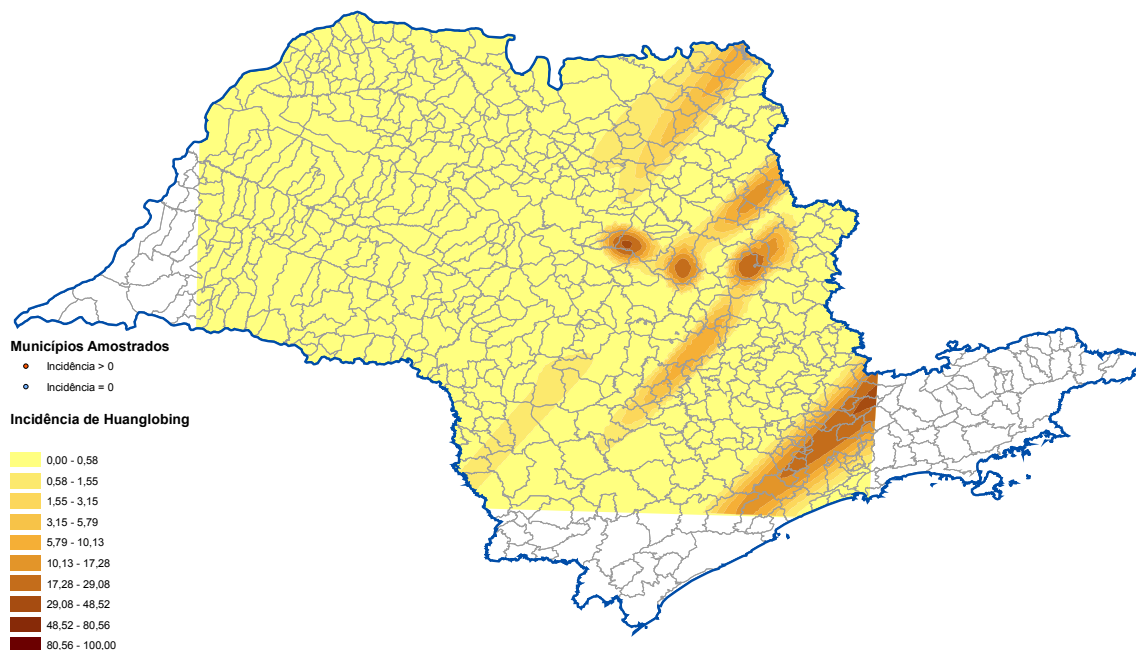


Figura 35 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

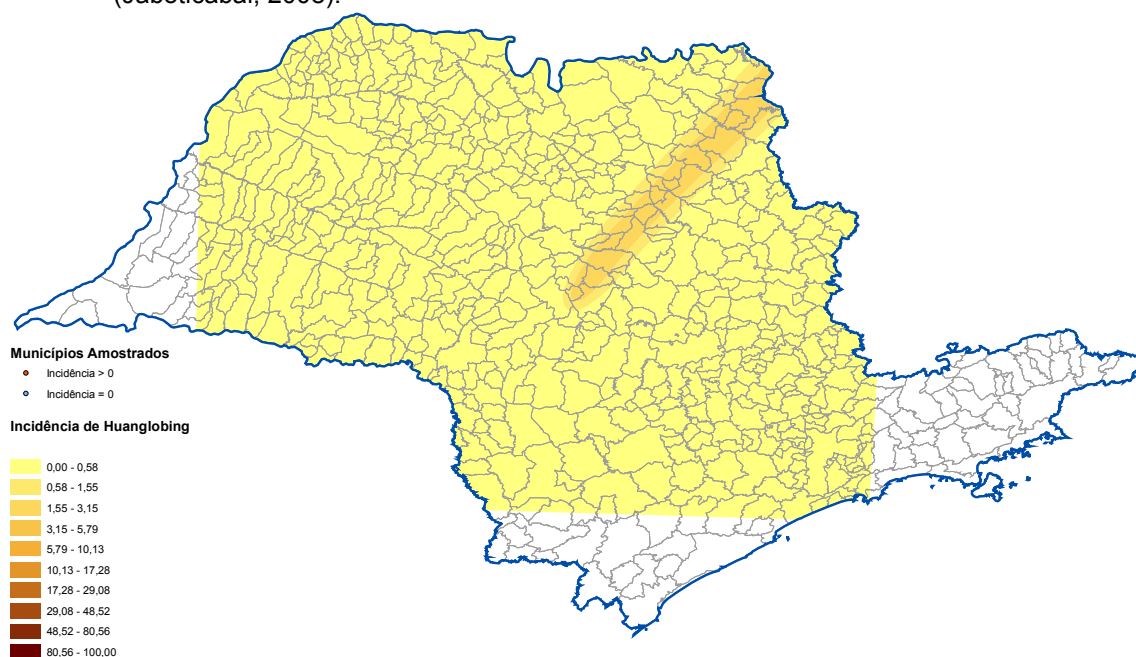


Figura 36 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade entre 6 e 10 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

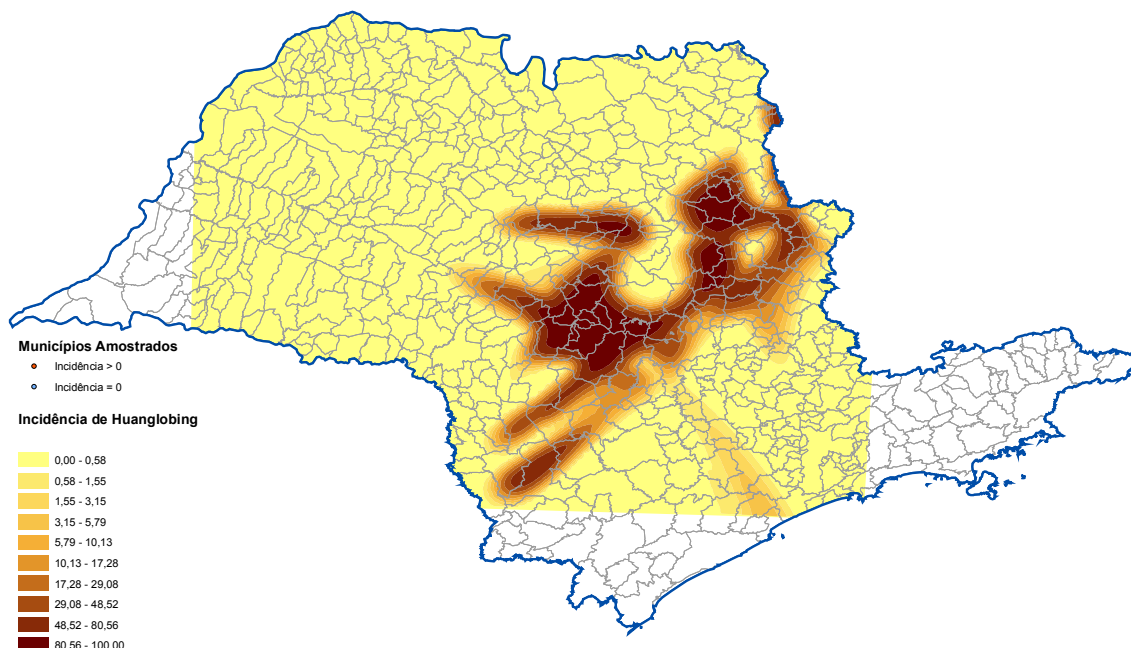


Figura 37 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

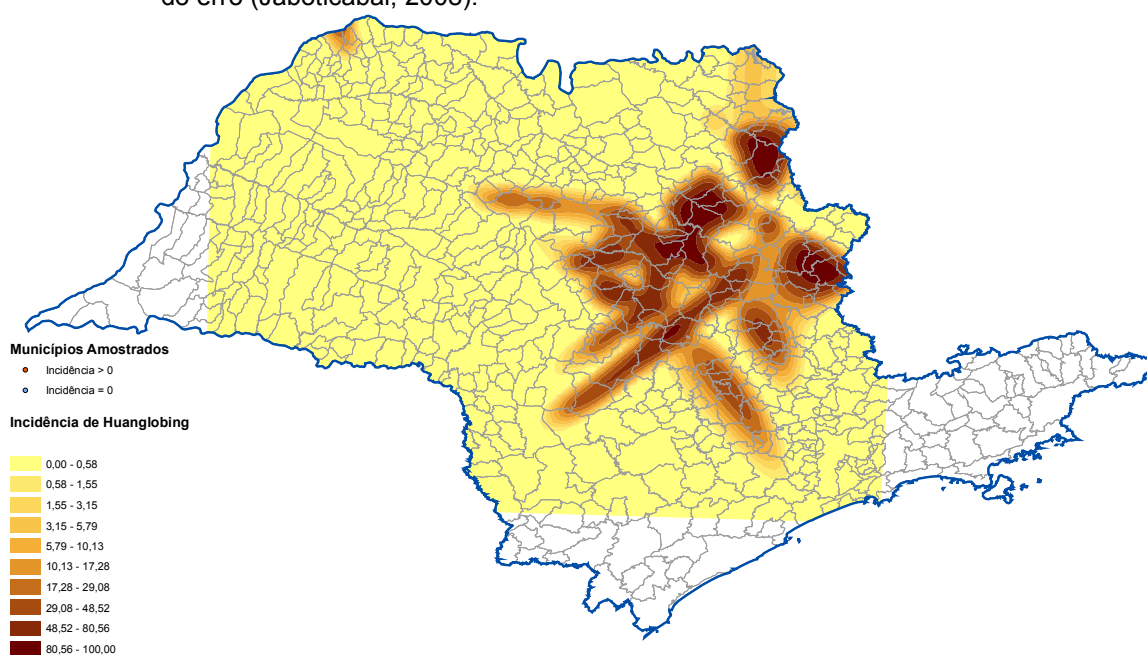


Figura 38 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).



Figura 39 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade entre 3 e 5 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

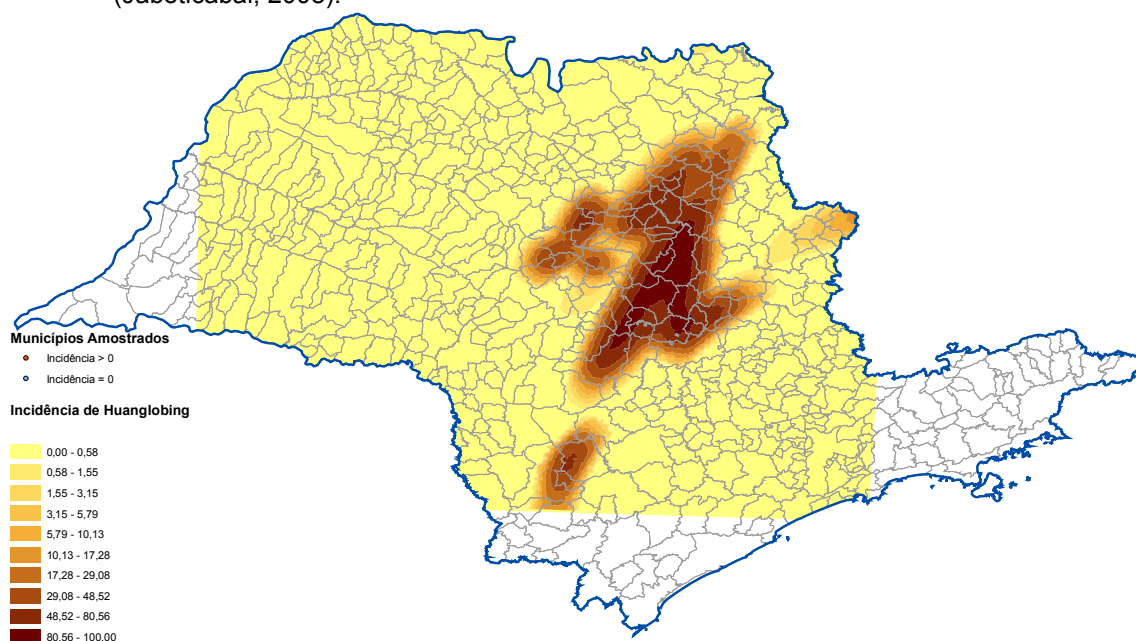


Figura 40 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2008, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

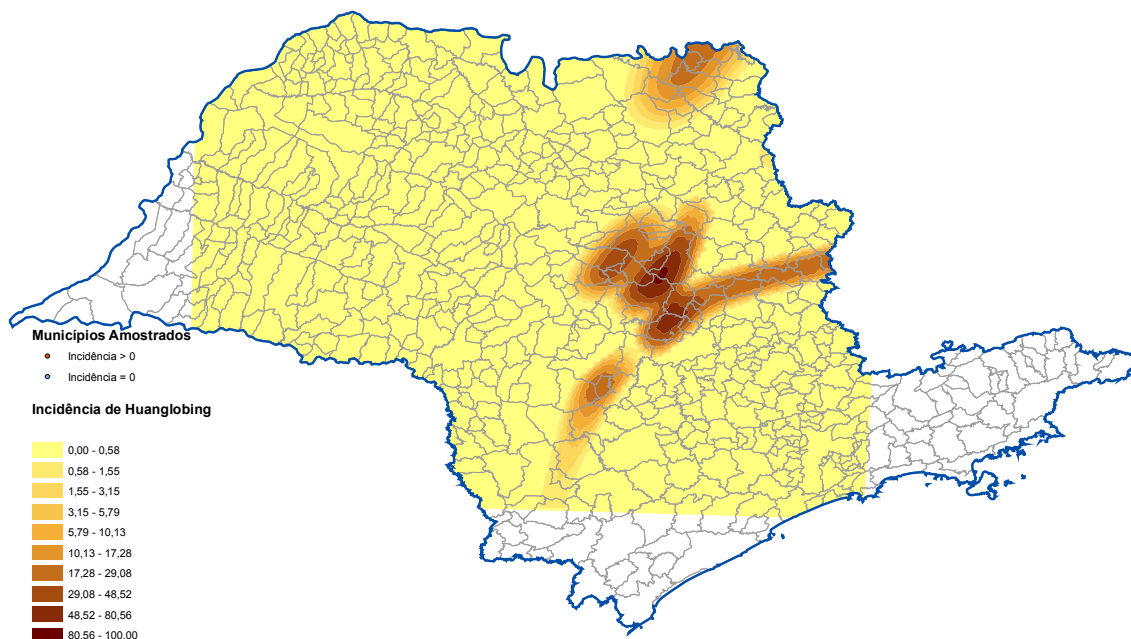


Figura 41 - Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2007, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

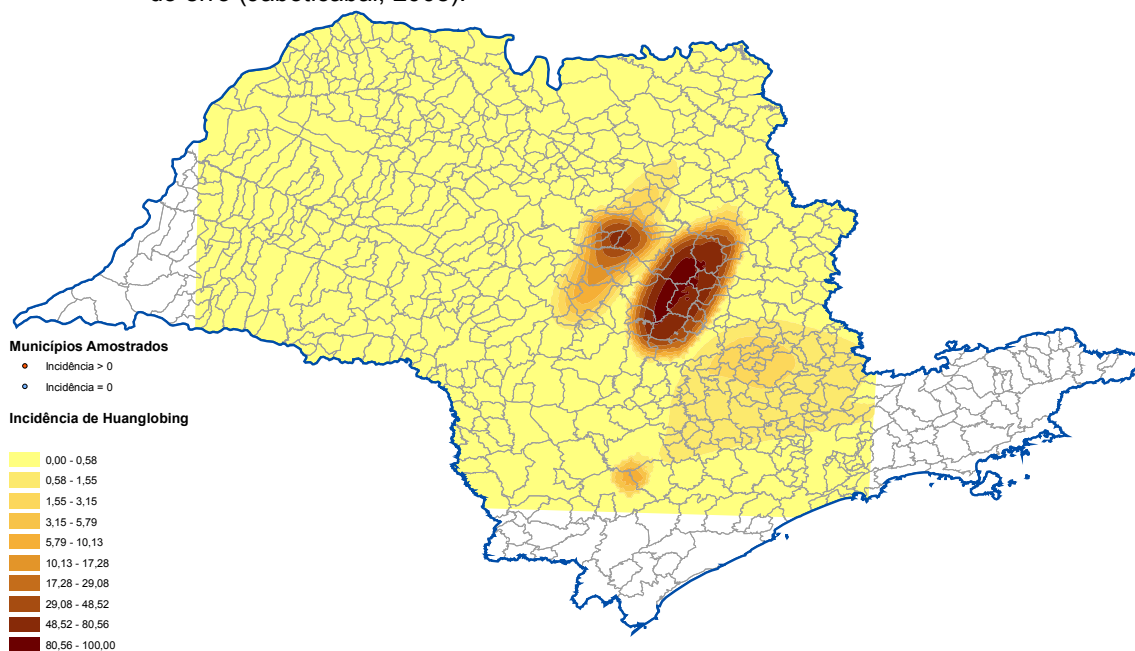


Figura 42 – Incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing em pomares do estado de São Paulo, no ano de 2004, com idade inferior a 2 anos, estimada pela técnica de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

2.4.3. Validação cruzada

Os resultados referentes à validação cruzada das malhas, criadas através de redes neurais e krigagem, encontram-se apresentados na Tabela 3, cujos valores de R^2 são respectivamente 0,62 e 0,87. Em todas as situações as redes neurais sempre tiveram desempenho inferior à geoestatística, fato esse que pode ser comprovado ao se analisar os mapas gerados pelas duas metodologias, sendo caracterizado por um valor de correlação muito mais elevado, quando comparado entre aquele oriundo do levantamento de incidência de HLB no município e estimados pelas metodologias aplicadas.

Tabela 3 – Validação cruzada entre os dados reais de incidência de plantas com sintomas de Huanglongbing e prevista pelas metodologias geoestatística e inteligência artificial (Jaboticabal, 2008).

Idade	Ano							
	2004		2007		2008		Média	
	Equação	R^2	Equação	R^2	Equação	R^2	Equação	R^2
Krigagem								
0 a 2	$Y = 0,265X - 0,015$	0,94	$Y = 0,144X + 1,486$	0,75	$Y = 0,345X + 1,467$	0,86	$Y = 0,251X + 0,989$	0,85
3 a 5	$Y = 0,191X + 0,884$	0,85	$Y = 0,500X + 1,619$	0,84	$Y = 0,425X + 4,258$	0,85	$Y = 0,372X + 2,254$	0,85
6 a 10	$Y = 0,072X + 0,496$	0,89	$Y = 0,420X + 1,923$	0,85	$Y = 0,631X + 2,488$	0,82	$Y = 0,374X + 1,636$	0,85
> 10	$Y = 0,305X + 0,005$	0,96	$Y = 0,606X + 0,900$	0,88	$Y = 0,675X + 1,181$	0,87	$Y = 0,528X + 0,695$	0,90
Todas	$Y = 0,430X + 0,028$	0,96	$Y = 0,471X + 0,143$	0,93	$Y = 0,737X + 1,914$	0,87	$Y = 0,546X + 0,695$	0,92
Média	$Y = 0,252X + 0,280$	0,92	$Y = 0,428X + 1,214$	0,85	$Y = 0,562X + 2,261$	0,85	$Y = 0,414X + 1,254$	0,87
Rede neural treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro								
0 a 2	$Y = 0,980X + 0,006$	0,42	$Y = 0,529X + 0,004$	0,63	$Y = 0,702X + 0,012$	0,46	$Y = 0,737X + 0,007$	0,50
3 a 5	$Y = 0,831X + 0,009$	0,63	$Y = 0,937X + 0,008$	0,82	$Y = 0,731X + 0,009$	0,52	$Y = 0,833X + 0,009$	0,66
6 a 10	$Y = 0,005X + 0,001$	0,03	$Y = 0,027X + 0,001$	0,16	$Y = 0,693X + 0,023$	0,59	$Y = 0,242X + 0,008$	0,26
> 10	$Y = 0,930X + 0,001$	0,93	$Y = 0,984X + 0,002$	0,99	$Y = 0,990X + 0,000$	0,99	$Y = 0,968X + 0,001$	0,97
Todas	$Y = 7,329X + 0,001$	0,82	$Y = 6,320X + 0,015$	0,56	$Y = 0,816X + 0,002$	0,76	$Y = 4,822X + 0,006$	0,71
Média	$Y = 2,015X + 0,004$	0,56	$Y = 1,759X + 0,006$	0,63	$Y = 0,786X + 0,009$	0,66	$Y = 1,520X + 0,006$	0,62

2.4.4. Estatística zonal

A média zonal da incidência de plantas cítricas com sintomas de HLB estratificada em mesorregiões (Figura 10) do estado de São Paulo é apresentada na Tabela 4. De acordo com os dados contidos nessa tabela, observa-se que os valores negativos inevitavelmente gerados por ambas as metodologias foram considerados como valor zero.

Ao se analisar a evolução do número de plantas com sintomas de HLB estimado por meio da geoestatística nota-se que a mesorregião de Araraquara é a que possui os maiores índices, independente de faixas de idade e número de levantamentos, seguidas pelas mesorregiões de Piracicaba, Bauru, Campinas e Ribeirão Preto. Em todas as situações envolvendo o emprego da geoestatística foi observado um padrão de crescimento exponencial, o qual pode ser facilmente ajustado a uma curva de progresso da doença. Entretanto, não se procedeu a inserção da regressão dado o baixo número de avaliações realizadas.

Os valores estimados a partir do emprego de redes neurais mostram que em muitas das combinações ano x mesorregião não foi encontrado um padrão de crescimento exponencial, sendo comum observar a redução no valor da porcentagem de talhões contendo plantas sintomáticas. Adicionalmente, ao analisarem-se os valores médios denota-se que estes não se situaram próximos dos observados pelo levantamento, não havendo correspondência entre os dados reais e previstos.

Tabela 4 – Previsão da incidência de plantas cítricas com sintomas de Huanglongbing estimada de média zonal dos talhões do cinturão citrícola e estimava de incidência realizada pela metodologia de krigagem e redes neurais (Jaboticabal, 2008).

Mesorregião	Menor de 2 anos			Entre 3 e 5 anos			Entre 6 e 10 anos			Mais que 10 anos			Todas Idades		
Geoestatística	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008
Araraquara	13,4	14,6	26,6	38,1	39,7	36,0	11,4	32,9	46,8	14,1	33,3	45,1	1,8	3,2	48,1
Bauru	0,5	2,6	5,7	1,4	4,6	16,4	0,2	1,3	11,4	0,1	3,9	8,5	0,0	0,3	11,3
Campinas	0,2	8,6	5,1	-2,2	26,7	15,0	1,4	23,5	22,4	1,0	14,2	12,0	0,1	1,7	14,4
Itapetininga	-0,3	-0,6	-0,8	0,3	-3,0	2,0	-0,5	-4,0	6,9	-0,2	-2,2	-1,2	0,0	-0,2	0,3
Piracicaba	6,2	16,0	23,8	13,9	27,7	29,9	6,8	30,4	41,7	3,6	16,8	19,2	0,7	2,9	23,7
Ribeirão Preto	-0,1	0,4	0,2	-4,9	9,7	11,0	5,4	25,0	13,2	4,3	18,2	9,4	0,6	0,9	14,5
S. J. do Rio Preto	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
Rede Neural	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008	2004	2007	2008
Araraquara	22,4	14,9	39,6	24,4	34,9	27,3	13,4	30,4	47,1	19,4	35,5	53,2	0,5	3,1	45,7
Bauru	0,7	1,4	6,9	0,0	7,1	26,1	0,0	0,4	10,4	0,1	3,6	2,6	0,1	0,2	11,3
Campinas	1,3	2,5	0,6	3,7	18,5	13,6	0,5	15,9	24,1	1,4	11,9	11,1	0,0	1,6	15,2
Itapetininga	0,3	0,5	4,5	0,0	0,2	7,1	0,0	0,0	15,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	3,2
Piracicaba	23,0	15,4	35,4	11,0	27,2	25,4	10,1	39,7	48,9	4,4	15,3	17,0	0,0	1,6	22,5
Ribeirão Preto	0,6	2,1	9,6	2,6	12,6	9,7	20,6	12,4	15,8	1,9	8,3	5,6	0,5	1,4	10,7
S. J. do Rio Preto	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0

2.4.5. Previsão

Os dados referentes ao valor do número de plantas com sintomas de HLB, previsto através de rede neural, para o ano de 2009, encontram-se apresentado na Figura 43. Ao se comparar com o mapa gerado pela mesma metodologia, porém para o ano de 2008 (Figura 28), nota-se apenas um pequeno aumento da área de foco principal, acompanhado de um pequeno deslocamento lateral, neste caso para à direita, ambos não significativos. Comportamento semelhante, em termos de aumento de área e deslocamento, também é observado ao se comparar os dados contidos nas Figura 31 e Figura 44, que representam respectivamente a incidência de HLB em pomares com idade superior a 10 anos, previsto para 2009, e registrado em 2008. Para os mapas de pomares com idade entre 6 e 10 anos correspondentes ao ano 2008 (Figura 34) e para o ano de 2009 (Figura 45), nota-se um aumento, com padrão lógico, porém as dimensões e formato das estimativas para ambos os anos, apesar de espacialmente semelhantes, não correspondem aos valores gerados por meio da krigagem (Figura 19), para a faixa de idade estudada.

Conforme dados dos padrões de número de plantas cítricas com sintomas de HLB, contidos nas Figura 37 e Figura 46, os quais contemplam talhões com idade entre 3 a 5 anos, constata-se um desenvolvimento lógico da epidemia. Entretanto, quando comparados com os dados correspondentes, ao padrão obtido pela geoestatística (Figura 22), verifica-se que o valor de correlação foi baixo, não refletindo a realidade do levantamento amostral. Finalmente ao se analisar os dados correspondentes à Figura 40 e Figura 47 gerados a partir de dados obtidos de pomares com idade inferior a 2 anos observa-se, assim como nos demais casos, um padrão lógico de crescimento, sendo, porém este divergente ao observado em campo (Figura 25).

De acordo com os dados da previsão do padrão espacial da incidência de talhões com sintomas de HLB, estimada por meio de redes neurais do tipo *perceptron* de múltiplas camadas (MLP), para o ano de 2009, foi observado que em

todos os casos a rede neural não incorreu em êxito ao gerar os padrões da epidemia. Tal insucesso pode ser atribuído pelo fato das estruturas computacionais empregadas no MLP não serem ricas o suficiente para lidar com reconhecimento de padrões que mudam com o tempo, ou padrões dinâmicos, pois, não são capazes de representá-los adequadamente em sua topologia interna. Para isto são necessárias novas estruturas capazes de representar a evolução temporal dos padrões.

As redes MLP tradicionais não possuem a estrutura adequada para lidar com padrões dinâmicos, portanto, são necessários alguns ajustes em seu treinamento. Uma maneira de adaptar o treinamento é transformar os dados originalmente dinâmicos em dados estáticos, através do uso de janelas de tempo. Entretanto, porém esta abordagem não é interessante, pois cria somente um retrato de como está a epidemia em um ponto do tempo, impossibilitando a previsão de sua evolução. No presente caso, uma alternativa viável é a da incorporação de estruturas adequadas a esse tipo de processamento, como o caso das arquiteturas de rede neural com atraso no tempo (TDNN) e Elman. Tais arquiteturas são usadas em diversas aplicações como, por exemplo, previsões financeiras e clima (HAYKIN, 2001).

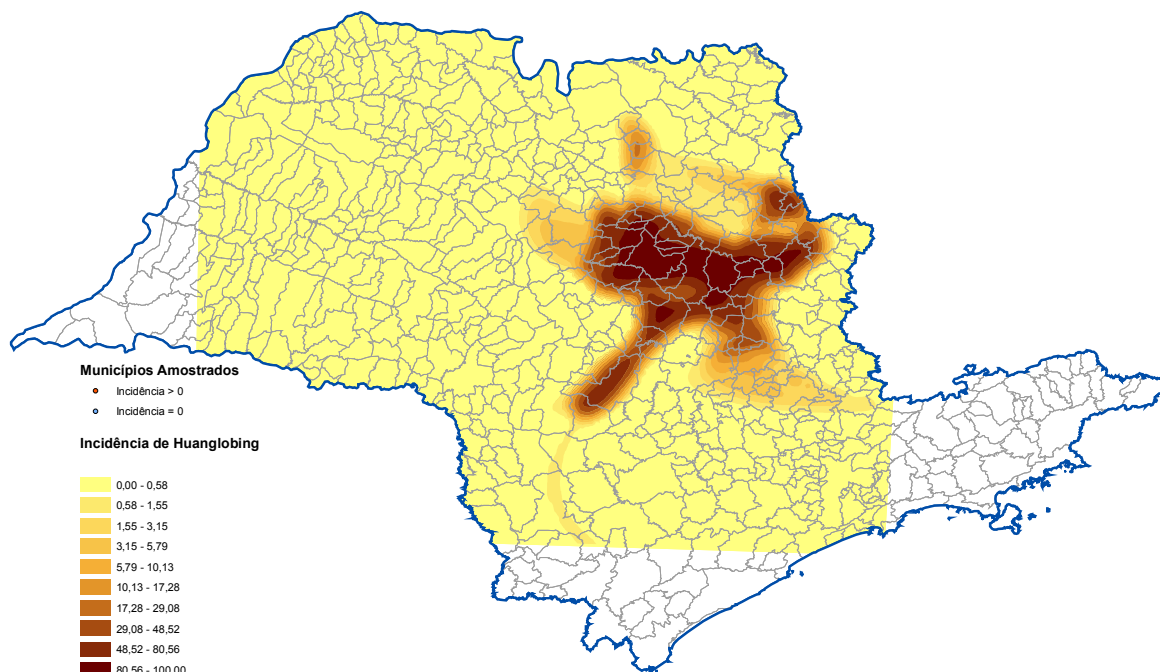


Figura 43 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

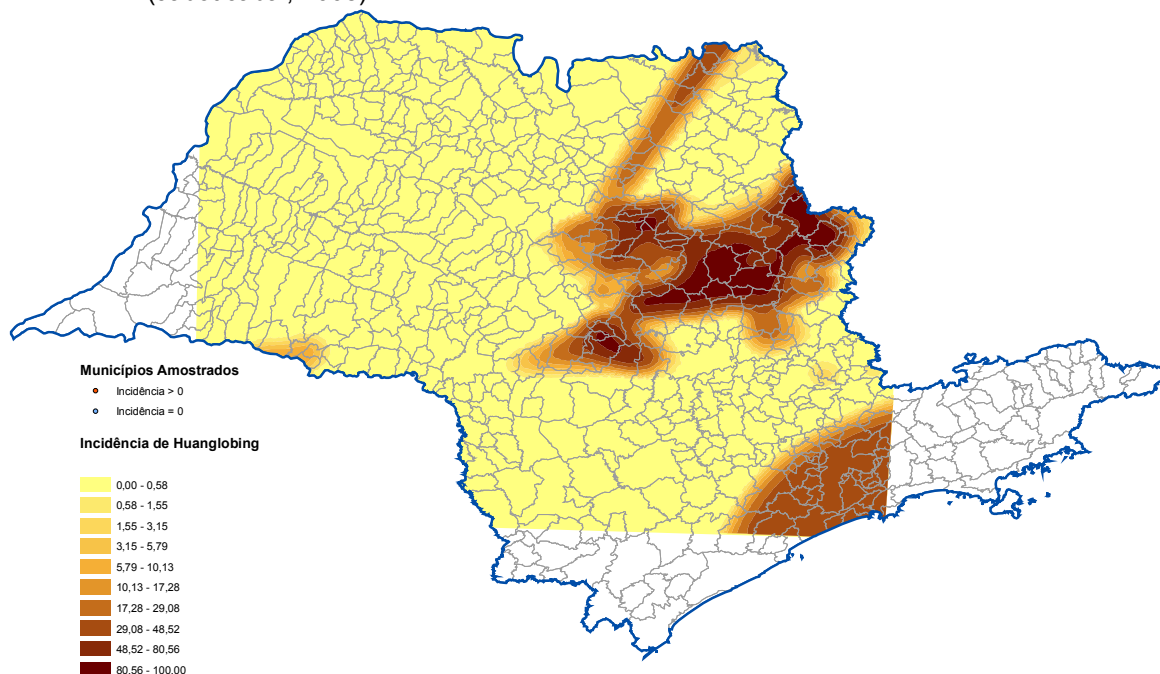


Figura 44 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade superior a 10 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

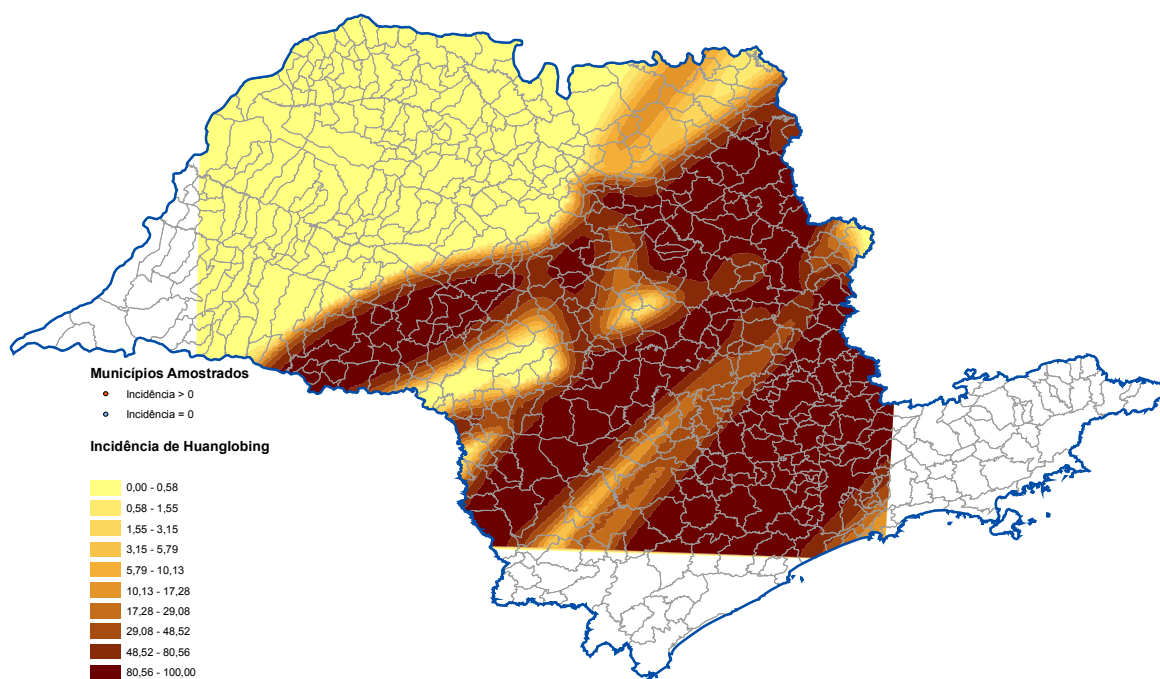


Figura 45 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade entre 6 e 10 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

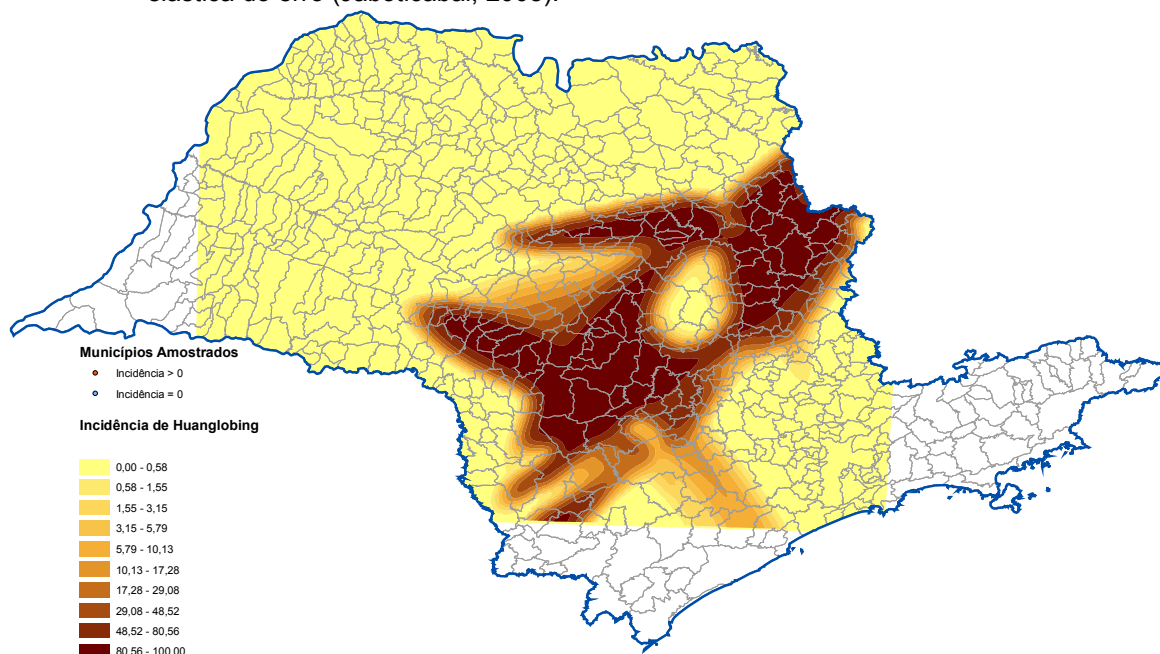


Figura 46 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade entre 3 e 5 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

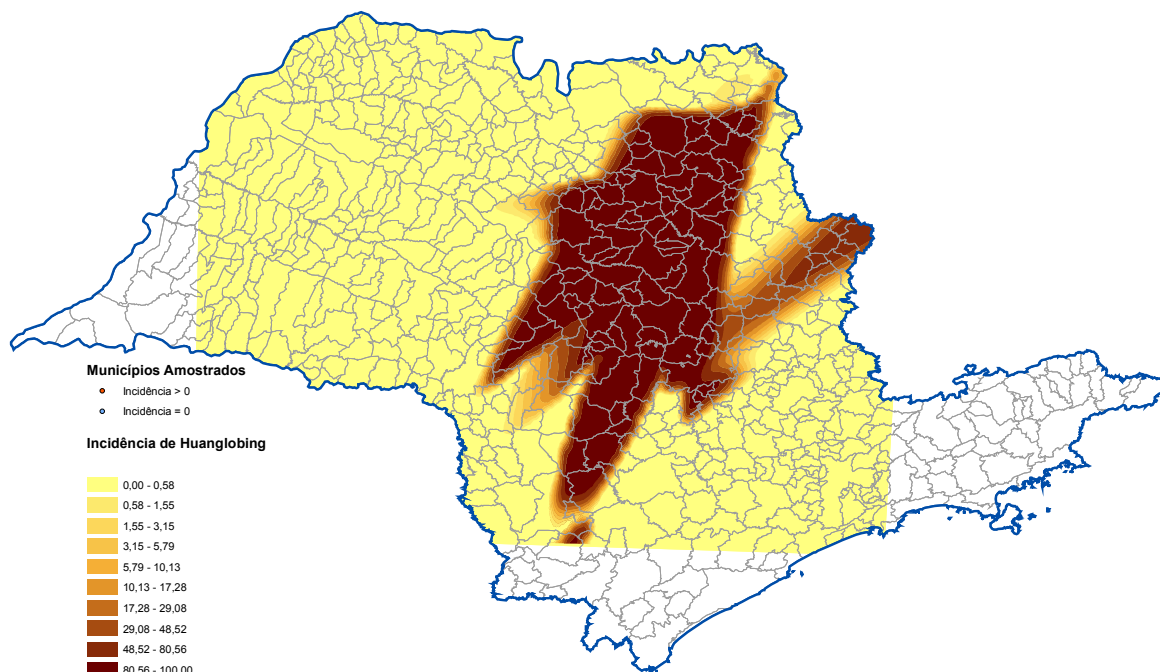


Figura 47 – Previsão da incidência de talhões com sintomas de Huanglongbing para o ano de 2009, em pomares do estado de São Paulo, de idade inferior a 2 anos, prevista por meio de rede neural artificial de topologia 3x10x10x1 treinada pelo algoritmo da propagação elástica do erro (Jaboticabal, 2008).

Em termos gerais os resultados ora obtidos indicam que a metodologia geoestatística de krigagem se mostrou adequada para estimativa da incidência de talhões com sintomas de HLB enquanto que a análise dos modelos dos semivariogramas forneceu importantes informações a respeito do comportamento da doença, especialmente no parâmetro alcance. Tal metodologia ainda se mostrou interessante, uma vez que viabilizou a geração de um mapa de erro, que foi utilizado para remover as regiões onde a estimativa de incidência de plantas cítricas sintomáticas não foi confiável. A metodologia de redes neurais do tipo *perceptron* de múltiplas camadas não teve sucesso em representar a evolução da epidemia na topologia utilizada. O emprego de outras topologias, tipo e algoritmos de treinamento são necessários para complementar este estudo e descartar a metodologia para esta finalidade. O emprego dessa metodologia, embora os resultados obtidos não representem com fidelidade o comportamento da epidemia, a mesma mostrou-se promissora com vistas à sua aplicação em

trabalhos complementares. Através de análise dos valores de média zonal dos talhões estratificados em grupos de idade e mesorregiões foi possível prognosticar que as mesorregiões representadas por Araraquara, Piracicaba, Bauru, Campinas e Ribeirão Preto são que as possuem maior incidência da doença. Estas regiões coincidem com a parte mais densa do cinturão citrícola, o que contribuiu para a rápida disseminação da doença nestes locais. Os mapas de incidência da doença gerados pela krigagem representaram com fidelidade o comportamento da doença ao longo do estado de São Paulo, nestes mapas foi possível notar que a epidemia teve início na mesorregião de Araraquara, nos municípios de São Carlos e Luiz Antonio. Outro ponto constatado que um novo foco da doença está se formando em plantas jovens na região noroeste do estado, na região de Nhandeara.

2.5. CONCLUSÕES

Mediante o emprego da metodologia geoestatística de krigagem é possível fazer um prognóstico da incidência de plantas cítricas com sintomas de HLB, enquanto que mediante a análise dos modelos dos semivariogramas é possível estabelecer uma relação temporal da doença, especialmente quanto ao parâmetro alcance. Os mapas de incidência da doença gerados mediante krigagem representaram com fidelidade o comportamento da doença ao longo do estado de São Paulo, com indicação de que a epidemia teve início na mesorregião de Araraquara, nos municípios de São Carlos e Luiz Antonio. Além disso, essa metodologia permitiu prognosticar quanto à formação de um novo foco da doença, iniciando a partir de plantas jovens na região noroeste do estado, na proximidade de Nhandeara. A metodologia de redes neurais na proposta de trabalho não se mostrou eficiente na modelagem do padrão espacial da epidemia, porém outras topologias e algoritmos de treinamento devem ser estudados antes de se descartar a técnica.

CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DO ALINHAMENTO DE PLANTIO NA SEVERIDADE DA MANCHA PRETA DOS CITROS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO SUCO

3.1. RESUMO

O alinhamento de plantio de plantas frutíferas, embora pouco estudado, certamente tem influência em seu desempenho agrônomo, devido às diferenças de distribuição de luminosidade, intensidade de radiação solar e molhamento foliar, entre outras variáveis. Em termos de severidade das doenças, tais diferenças podem ter um impacto relevante, com conseqüências significativas na configuração espaço-temporal na interação planta-patógeno-ambiente. No presente estudo foram selecionadas cinco propriedades distribuídas ao longo do cinturão citrícola paulista, as quais tiveram talhões semelhantes, com alinhamentos de plantio nas direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE selecionadas. Nestes talhões foram coletadas amostras de 50 frutos em 10 plantas da região central da quadra para análise da severidade da mancha preta, produção e qualidade do suco. Constatou-se que o alinhamento de plantio E-W proporcionou a menor severidade da doença, enquanto que o alinhamento N-S os maiores níveis. Foi constatado que propriedades localizadas mais ao Sul do estado apresentaram menores níveis de doença, certamente em conseqüência do menor período de ocorrência da mesma em tais locais. Em relação à produção, os alinhamentos de plantio N-S e E-W proporcionaram maior número de caixas por planta, enquanto os alinhamentos de plantio NW-SE e NE-SW a menor. Quanto à qualidade do suco não foi possível a observação de um padrão definido do comportamento do *ratio* e °Brix em relação ao alinhamento de plantio. Porém foi possível a observação da influência da latitude no valor do *ratio* onde propriedades localizadas mais ao Sul tiveram menores valores.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*, *Guignardia citricarpa*, produção.

3.2. INTRODUÇÃO

No ano agrícola 2007/2008 serão produzidas, no estado de São Paulo e triângulo mineiro 368 milhões de caixas laranja de 40,8 kg, gerando 400 mil empregos diretos, representando boa parte da classe média rural. O estado de São Paulo detém 97% das exportações brasileiras de suco de laranja, possuindo o maior pomar do mundo, com cerca de 200 milhões de pés de laranja em 13.000 propriedades em 691 mil ha distribuídos ao longo de quase todo estado de São Paulo e triângulo mineiro (Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de São Paulo, 2008).

O alinhamento de plantio de plantas frutíferas, embora pouco estudado, certamente tem influência em seu desempenho agronômico, dada às diferenças de distribuição de luminosidade, intensidade de radiação solar e molhamento foliar, entre outras variáveis. Em termos de severidade das doenças, tais diferenças podem ter um impacto relevante, com consequências significativas na configuração espaço-temporal na interação patógeno-hospedeiro-ambiente.

Em viticultura, existem diversos trabalhos que demonstram a influência do alinhamento de plantio nas características tecnológicas das frutas, como melhoria dos teores de açúcar e sólidos solúveis (AHMEDULLAH, 1996). Segundo este autor, o alinhamento de plantio nesta cultura também é utilizado para redução da incidência de algumas doenças, uma vez que alinhamentos que privilegiem a exposição da planta ao Sol reduzem o tempo de molhamento foliar resultante de chuvas, orvalho e irrigação, proporcionando um clima desfavorável aos patógenos.

No caso de videiras, normalmente o plantio dá-se no alinhamento Norte-Sul, porém em regiões mais quentes são relatados plantios em alinhamentos Nordeste - Sudoeste com intuito de minimizar a exposição ao Sol do período da tarde e maximizar a exposição no período da manhã. No caso dos citros, não obstante a sua importância econômica, ampla distribuição geográfica e grandes áreas de cultivos, não há na literatura informações acerca da relação entre alinhamentos de plantio com aspectos fitossanitários da cultura e respostas agronômicas.

Na cultura dos citros a continuidade espacial das propriedades, a continuidade temporal de órgãos suscetíveis, a baixa variabilidade genética e o adensamento de plantio cada vez maior encontrado nos pomares, são condições que favorecem a ocorrência de pragas e doenças. Entre elas, a mancha preta dos citros, causada pelo fungo *Guignardia citricarpa*, se destaca pelo grande impacto econômico que vem causando à citricultura pela redução da produtividade em pomares, depreciação dos frutos para o mercado de fruta fresca, e oneração dos custos de produção pelas diferentes estratégias de controle (SPÓSITO, 2003).

O método utilizado para determinar a maturidade e a época da colheita dos frutos de laranja é conhecido como índice de maturidade ou, simplesmente, ratio que é a razão entre as porcentagens de sólidos solúveis totais (SST) e de acidez total titulável (ATT) (SINCLAIR, 1984; SOULE & GRIERSON, 1986, VOLPE et al., 2002). No Brasil, apesar do consumo de suco de laranja concentrado congelado ser pequeno (5% do total produzido), verifica-se a preferência por sucos com ratio acima de 14. Todavia, o processamento pode começar quando o ratio alcança 12 – 13, embora o preferido pelas indústrias esteja entre 15 e 18 (MARCHI, 1993).

Estratégias de controle da doença que reduzam o custo de produção, o risco de resíduos de defensivos nos frutos, suco e óleos essenciais e que maximizem a produtividade são de fundamental importância para a sustentabilidade do negócio, especialmente pelo perfil da maioria dos produtores ser de pequena e média escala. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivos: avaliar a influência do alinhamento de plantio na severidade da mancha preta dos citros, causada por *G. citricarpa*, assim como a sua influência na produtividade e características tecnológicas do suco.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas cinco propriedades ao longo do cinturão citrícola paulista (Figura 48A) a contemplar as regiões com maior densidade de árvores. Nestas propriedades foram selecionados quatro talhões da variedade Natal com

alinhamentos de plantio nas direções: Norte (N) – Sul (S), Leste (E) – Oeste (W), Noroeste (NW) – Sudeste (SW) e Nordeste (NO) – Sudoeste (SW). Dentro de cada propriedade, tais talhões apresentavam características semelhantes quanto ao porta-enxerto e idade superior a 10 anos, assim como semelhança quanto aos tratos culturais recebidos e espaçamento de plantas. Além disso, também havia semelhança quanto à topografia e características físicas e químicas do solo. Para identificação do alinhamento dos plantios, foram utilizadas fotos de satélite com resolução espacial de 60 cm (Figura 48B) e verificação em campo através de caminhar nas linhas de plantio utilizando-se um GPS com precisão de ± 5 m.

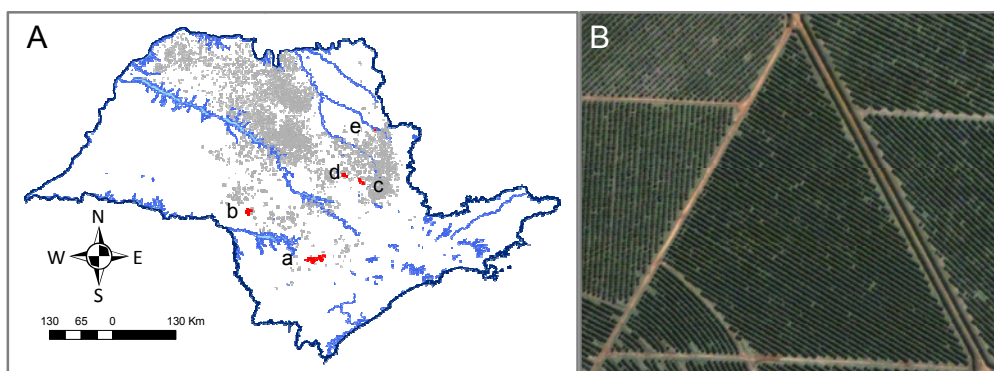


Figura 48 – A) Propriedades onde foram coletados frutos para execução dos ensaios; em vermelho fazendas selecionadas; em cinza cinturão citrícola paulista, letras minúsculas denotam os municípios onde: a) Itapetininga; b) Santa Cruz do Rio Pardo; c) Rio Claro; d) Itirapina; e) Tambaú. B) Exemplo de foto de satélite utilizada para identificação do alinhamento de plantio. (Jaboticabal, 2008).

Por ocasião da colheita dos frutos, no mês de novembro de 2007, na área central do talhão foram coletadas amostras contendo 50 frutos em 10 plantas consecutivas, em cada face das mesmas, ao longo do seu eixo vertical. Após a colheita procedeu-se a derriça e contagem dos frutos em cada uma das faces.

As amostras foram então encaminhadas ao Laboratório de Fitopatologia do Departamento de Fitossanidade para avaliação da severidade da Mancha Preta dos Citros. Na avaliação da severidade adotou-se o emprego de escala de notas, levando-se em conta os sintomas dos tipos mancha dura e falsa melanose,

conforme escala e procedimentos adotados respectivamente por FAGAN & GOES (1999) e SPÓSITO (2003).

Após análise dos níveis de incidência e severidade dos frutos, esses foram levados para o Laboratório de Análise Preliminar de Frutos da Citrovita Agroindustrial Ltda, em Catanduva/SP, onde foram determinados o peso médio dos frutos, °Brix e ratio.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 ou 8 x 5 (alinhamento ou face exposta x propriedade), com 10 e 20 repetições respectivamente. Para o caso do alinhamento de plantio cada planta foi considerada uma repetição enquanto que para face exposta cada face foi considerada como uma repetição. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (Teste F) e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste F foi significativo ao nível de 5% de probabilidade para todas as variáveis analisadas assim como todas as interações das variáveis independentes. Em termos de severidade de doença, foi constatado efeito significativo do alinhamento de plantio, independente dos tipos de sintomas analisados. Exceção faz-se apenas em relação à propriedade B, onde não foram constatadas diferenças significativas entre os alinhamentos, tanto para sintomas do tipo mancha dura, como para os do tipo falsa melanose (Tabela 5 e Figura 49).

Tabela 5 – Influência do alinhamento de plantio, na severidade da mancha preta dos frutos cítricos, produção e características tecnológicas do suco (Jaboticabal, 2008).

Orientação de plantio	Propriedade											
	A		B		C		D		E		Média	
Severidade da Mancha Preta (Mancha Dura)												
N-S	0,290	AB ^x	0,006	A	0,978	A	1,332	C	1,492	C	0,668	C
NW-SE	0,065	B	0,015	A	0,332	B	1,843	AB	2,679	AB	0,987	B
E-W	0,517	A	0,007	A	1,330	A	1,755	BC	2,514	B	1,022	B
NE-SW	0,189	AB	0,019	A	1,349	A	2,131	A	3,082	A	1,354	A
Média	0,334	c	0,012	d	0,998	c	1,766	b	2,442	a		
Severidade da Mancha Preta (Falsa Melanose)												
N-S			0,060	A	0,508	AB	1,075	AB	0,907	A	0,637	A
NW-SE		Y	0,093	A	0,200	A	0,753	A	1,468	A	0,628	A
E-W			0,055	A	0,760	B	1,691	C	2,098	B	1,151	B
NE-SW			0,036	A	0,485	AB	1,580	BC	2,393	B	1,124	B
Média			0,061	a	0,488	b	1,275	c	1,717	d		
Número médio de frutos por árvore												
N-S	954	A	1029	A	967	A	881	A	505	AB	892	A
NW-SE	565	B	972	B	668	A	297	B	223	B	545	C
E-W	942	A	1369	AB	241	B	690	A	579	AB	815	AB
NE-SW	723	AB	764	B	653	A	608	AB	757	A	701	B
Média	871	b	1034	a	632	c	619	c	516	c		
Peso médio de frutos (g)												
N-S	327	AB	273	A	295	A	240	A	276	B	295	B
NW-SE	306	B	249	A	288	A	271	A	295	AB	282	BC
E-W	362	A	283	A	260	A	230	A	342	A	314	A
NE-SW	294	B	247	A	241	A	280	A	273	B	267	C
Média	333	a	263	c	271	c	255	c	296	b		
Produção (cx/planta)												
N-S	7,96	AB	7,11	AB	7,02	AB	5,18	A	3,44	A	6,66	A
NW-SE	4,25	C	5,95	AB	4,76	AB	2,02	A	1,62	A	3,72	B
E-W	8,38	A	9,53	A	1,53	B	3,95	A	4,88	A	6,44	A
NE-SW	5,20	BC	4,66	B	3,85	A	4,19	A	5,06	A	4,59	B
Média	7,31	a	6,81	a	4,29	b	3,83	b	3,75	b		
Ratio												
N-S	16,26	A	17,38	A	12,57	C	16,19	A	19,38	B	16,33	B
NW-SE	13,35	B	16,19	A	15,05	AB	16,71	A	24,79	A	17,22	A
E-W	16,53	A	16,18	A	17,46	A	15,95	A	18,78	B	16,85	AB
NE-SW	13,77	B	15,38	A	14,49	BC	16,37	A	15,02	C	15,01	C
Média	15,69	bc	16,29	b	14,89	c	16,31	b	19,49	a		
°Brix												
N-S	13,35	A	11,25	A	12,19	A	11,36	A	11,74	B	12,37	B
NW-SE	11,59	B	11,43	A	10,69	B	12,02	A	14,37	A	12,02	BC
E-W	13,63	A	11,54	A	12,61	A	11,43	A	13,70	A	12,88	A
NE-SW	11,64	B	11,01	A	11,59	AB	12,38	A	11,53	B	11,63	C
Média	13,02	a	11,31	c	11,77	bc	11,80	b	12,84	a		

^x Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$). ^y Avaliação não realizada devido à incidência e severidade muito baixa do sintoma da doença.

Em termos de sintomas do tipo mancha dura, na propriedade B não foi observada relação entre os alinhamentos de plantios e quantidade de doença, estando os níveis muito baixos, certamente em consequência da recente constatação da doença nessa área. No caso da Propriedade C, de forma semelhante ao observado em A, o nível mais baixo de doença foi verificado para o alinhamento NW-SE. Nos demais alinhamentos os níveis de severidade foram mais significativamente mais elevados, não diferindo estatisticamente entre si, porém sendo significativamente diferente de NW-SE. Nas propriedades D e E os menores níveis de severidade foram observados no alinhamento N-S, enquanto o mais elevado foi observado em NE-SW. Nos demais alinhamentos os níveis de severidade foram intermediários, e não diferiram estatisticamente entre si. Em termos de médias, os alinhamentos de plantios os quais foram observados os menores níveis de doença foi em N-S, ao passo que os maiores níveis de severidade foram observados em NE-SW.

Em relação ao sintoma do tipo falsa melanose e, para o caso da propriedade A, os níveis foram muito baixos, não sendo possível a sua quantificação. No caso da propriedade B, embora tenha sido possível a quantificação dos sintomas, esses encontravam-se em nível muito baixo, não sendo detectado diferença estatística quanto aos efeitos dos alinhamentos na severidade da doença. No caso da propriedade C, o menor nível de severidade foi observado no alinhamento NW-SE, enquanto o maior nível foi observado na direção E-W. Nos alinhamentos N-S e NE-SW os níveis de severidade foram intermediários, não diferindo estatisticamente entre si. Para o caso das propriedades D e E os menores níveis de severidade foram observados para os alinhamentos NW-SE e N-S, enquanto que, contrariamente, os maiores níveis foram notados nos alinhamentos E-W e NE-SW. Quanto às médias obtidas entre as propriedades, verifica-se que os menores índices de doença foram verificados nos alinhamentos N-S e NW-SE, enquanto que, contrariamente, os mais elevados o foram nos alinhamentos adicionais. Em termos gerais, independente do tipo de sintoma avaliado, os menores níveis de

severidade foram observados nos alinhamentos NW-SE e N-S, ao passo que os maiores o foram em NE-SW e E-W.

Na relação entre faces expostas da planta e severidade de sintomas do tipo mancha dura (Tabela 6) não foram encontradas diferenças significativas entre os dados para as propriedades A e B. Entretanto, para as propriedades C, D e E, na maioria das vezes as menores médias foram observadas para as faces E e W, enquanto que, contrariamente, os maiores índices foram observados para as faces NW e SE, as quais correspondem aos alinhamentos de plantios em N-S e NE-SW. Foi observado que os menores níveis de sintomas deram-se em E e W, os quais correspondem às faces que recebem sol de forma direta, enquanto os maiores níveis foram observados em NW-SE, que corresponde ao alinhamento NE-SW, respectivamente. Tal comportamento foi também o observado quando se analisa os dados resultantes da comparação das médias, independentes do efeito isolado das propriedades analisadas.

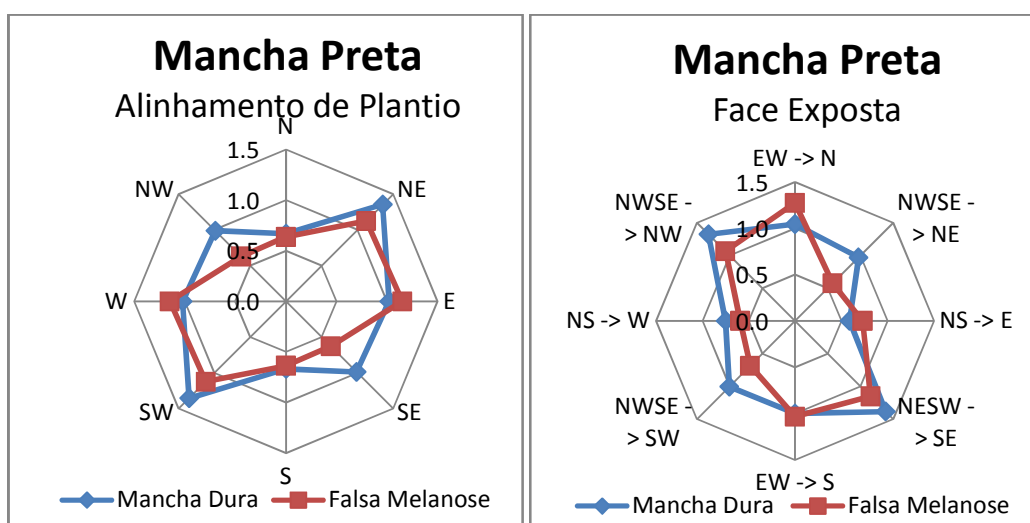


Figura 49 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na severidade da mancha preta dos citros (Jaboticabal, 2008).

Em termos de quantidade de sintomas do tipo falsa melanose, expresso em severidade, essa foi muito baixa nas propriedades A e B, onde apenas na segunda foi possível sua quantificação. Enquanto que em A não foi detectada influência das

faces na severidade dos sintomas em C, D e E foi verificada influência entre as faces, cujos menores níveis foram verificados em E e W, acompanhado por vezes por NE e SW. Por outro lado, os maiores níveis de severidade foram observados em N e S, e NW e SE, cujas faces correspondem aos alinhamentos de plantios E-W e NE-SW, respectivamente.

Na relação entre faces da planta e severidade de sintomas do tipo mancha dura foi observado que os menores níveis de sintomas deram-se em E e W, os quais correspondem ao alinhamento de plantio em N-S, enquanto os maiores níveis foram observados em NW-SE, que corresponde ao alinhamento NE-SW foram observados na face exposta da planta e foi o que em termos de severidade da MPC, expressos em sintomas do tipo mancha dura e falsa melanose, observa-se que os alinhamentos de plantio N-S e NE-SW proporcionaram os menores níveis de doença, sendo estatisticamente semelhantes entre si e significativamente diferentes dos alinhamentos NW-SE e E-W, onde os níveis de severidade foram mais elevados.

No alinhamento N-S, no período da manhã o sol incide diretamente na face E da planta o que certamente redundará em menor período de molhamento foliar, cujo parâmetro climático tem expressivo efeito na germinação de esporos fúngicos, assim como nas demais etapas dos processos infecciosos. Por outro lado, no caso do alinhamento E-W, as faces N e S permanecem sem a incidência direta do sol decorrente do auto-sombreamento das plantas, o que contribui para um maior período de molhamento foliar, cujos reflexos podem se expressar na forma de um maior nível de severidade da doença. Tal efeito também se reflete nos alinhamentos NE-SW e NW-SE, com efeito nas faces NW/SE e NE/SW, respectivamente.

Tabela 6 – Influência da face exposta na severidade dos sintomas da mancha preta dos frutos cítricos, produção e características tecnológicas do suco. (Jaboticabal, 2008).

Alinhamento de plantio	Face exposta	Propriedade										
		A		B		C		D		E		Média
Severidade da Mancha Preta (Mancha Dura)												
N-S	E	0,207	A ^x	0,006	A	0,844	ABC	1,210	A	1,430	A	0,587A
	W	0,373	A	0,006	A	1,113	BC	1,453	AB	1,554	A	0,749AB
E-W	N	0,527	A	0,008	A	1,358	C	1,691	ABC	2,678	BC	1,045 C
	S	0,506	A	0,006	A	1,303	C	1,820	ABC	2,351	B	1,000 C
NW-SE	NE	0,066	A	0,020	A	0,373	AB	1,823	ABC	2,559	BC	0,968 BC
	SW	0,064	A	0,010	A	0,290	A	1,862	ABC	2,799	BC	1,005 C
NE-SW	NW	0,116	A	0,030	A	1,358	C	2,009	BC	3,104	C	1,323 D
	SE	0,262	A	0,008	A	1,341	C	2,253	C	3,060	BC	1,384 D
Média		0,334a		0,012b		0,998c		1,766d		2,442e		
Severidade da Mancha Preta (Falsa Melanose)												
N-S	E	Y		0,074	A	0,604	A	1,094	ABC	1,150	A	0,730ABC
	W			0,046	A	0,416	A	1,059	ABC	0,848	A	0,592A
E-W	N			0,076	A	0,930	A	1,572	BC	2,516	C	1,273 D
	S			0,034	A	0,592	A	1,811	C	1,700	ABC	1,034 BCD
NW-SE	NE			0,102	A	0,136	A	0,572	A	1,486	AB	0,574A
	SW			0,084	A	0,262	A	0,932	AB	1,473	AB	0,688AB
NE-SW	NW			0,032	A	0,558	A	1,442	BC	2,216	BC	1,062 CD
	SE			0,040	A	0,412	A	1,717	BC	2,440	C	1,152 D
Média				0,061a		0,489b		1,275c		1,729d		
Número médio de Frutos por Árvore												
N-S	E	526	A	494	ABC	501	A	515	A	260	ABC	478A
	W	428	ABC	535	ABC	467	A	367	ABC	245	ABC	414AB
E-W	N	487	AB	653	AB	120	B	397	AB	272	ABC	415AB
	S	454	ABC	716	A	121	B	293	ABC	307	ABC	400 B
NW-SE	NE	282	C	495	ABC	328	AB	155	C	99	C	272 D
	SW	284	C	477	BC	340	AB	143	C	124	BC	273 D
NE-SW	NW	393	ABC	384	C	365	A	338	ABC	420	A	380 BC
	SE	330	BC	380	C	288	AB	270	BC	337	AB	321 CD
Média		436c		517d		316b		310ab		258a		
Peso médio de frutos (g)												
N-S	E	329	ABC	279	A	306	A	243	A	280	AB	299ABC
	W	326	BC	267	A	284	A	236	A	272	B	291 BCD
E-W	N	351	AB	274	A	262	A	230	A	349	A	310AB
	S	372	A	292	A	258	A	231	A	335	AB	319A
NW-SE	NE	328	ABC	254	A	281	A	268	A	295	AB	284 BCDE
	SW	284	C	243	A	296	A	274	A	296	AB	279 CDE
NE-SW	NW	295	BC	242	A	230	A	280	A	264	B	262 E
	SE	292	BC	252	A	253	A	280	A	281	AB	272 DE
Média		333a		262c		271c		255c		296b		
Produção (cx/face)												
N-S	E	4,38	A	3,55	AB	3,76	A	3,07	A	1,80	A	3,62A
	W	3,59	ABC	3,58	AB	3,27	A	2,12	A	1,65	A	3,06AB
E-W	N	4,23	AB	4,42	AB	0,76	B	2,28	A	2,32	A	3,21A
	S	4,15	AB	5,13	A	0,76	B	1,66	A	2,55	A	3,23A
NW-SE	NE	2,25	C	3,10	AB	2,27	AB	1,03	A	0,71	A	1,87 C
	SW	1,97	C	2,84	B	2,50	AB	0,99	A	0,93	A	1,85 C

NE-SW	NW	2,84	ABC	2,28	B	2,05	AB	2,33	A	2,74	A	2,45	BC
	SE	2,37	C	2,37	B	1,78	AB	1,87	A	2,31	A	2,14	C
Média		3,66a		3,41a		2,15b		1,92b		1,88b			
<i>Ratio</i>													
N-S	E	16,04	AB	17,08	A	12,57	C	15,51	A	17,21	D	15,78	B
	W	16,49	A	17,68	A	12,58	C	16,86	A	21,54	BC	16,87A	
E-W	N	16,55	A	15,99	A	16,66	AB	17,02	A	18,88	CD	16,88A	
	S	16,51	A	16,36	A	18,26	A	14,89	A	18,68	CD	16,82A	
NW-SE	NE	13,31	C	15,62	A	15,18	ABC	16,32	A	24,34	AB	17,00A	
	SW	13,39	C	16,76	A	14,92	BC	16,89	A	25,24	A	17,44A	
NE-SW	NW	13,57	BC	15,08	A	14,57	BC	17,35	A	16,18	DE	15,35	BC
	SE	13,97	ABC	15,70	A	14,42	BC	15,39	A	13,86	E	14,67	C
Média		15,69b		16,29b		14,89c		16,31b		19,49a			
<i>Brix</i>													
N-S	E	13,31	A	11,17	A	11,97	AB	11,01	B	11,21	C	12,18	BC
	W	13,38	A	11,32	A	12,41	A	11,72	AB	12,28	BC	12,55AB	
E-W	N	13,48	A	11,75	A	12,74	A	11,59	AB	14,02	A	12,93A	
	S	13,78	A	11,33	A	12,48	A	11,28	AB	13,38	AB	12,83A	
NW-SE	NE	11,54	B	11,37	A	10,54	B	11,72	AB	14,23	A	11,88	CD
	SW	11,65	B	11,48	A	10,84	B	12,31	AB	14,51	A	12,16	BC
NE-SW	NW	11,55	B	11,23	A	11,82	AB	12,73	A	11,72	C	11,81	CD
	SE	11,73	B	10,80	A	11,37	AB	12,03	AB	11,34	C	11,45	D
Média		13,02a		11,31c		11,77b		11,80b		12,84a			

^x Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p \geq 0,05$). ^y Avaliação não realizada devido à incidência e severidade muito baixa do sintoma da doença.

Em termos da influência da região na expressão da severidade da doença, observa-se que para ambos os tipos de sintomas houve diferença estatística entre as propriedades. Os níveis de doença foram significativamente menores nas propriedades A e B, inclusive com diferenças entre ambas, e progressivamente mais elevadas em C, D e E, respectivamente. Tais diferenças devem-se, principalmente ao tempo de início do estabelecimento do patógeno. Nas propriedades A e B, situadas respectivamente nos municípios de Itapetininga/SP e Santa Cruz do Rio Pardo/SP, o registro da doença é recente. Nas demais, os registros são mais antigos e seguem as ordens: C, D e E. É possível que tais diferenças estejam também associadas a aspectos bio-ecológicos locais e à influência climática. Embora a média dos dados correspondentes temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação pluviométrica, conforme registros climáticos correspondentes ao período de 1960 a 1990 não sejam tão díspares quando analisadas individualmente (Tabela 7), quando vistas em conjunto as

mesmas podem apresentar variações, cujo efeito pode manifestar com grande intensidade. Assim, ainda que a variação entre as médias mostrem-se relativamente baixas quando analisadas de forma isolada, é possível que, quando analisadas de forma conjunta os efeitos sejam muito significativos, já que a média de amplitude térmica e tempo de molhamento foliar podem ser muito expressivos.

Tabela 7 – Dados históricos de temperatura e precipitação do período 1960 a 1990 (Fonte: Somar Meteorologia, www.somarmeteorologica.com.br/v3, acesso em 15/09/2008).

Município	Temperatura média histórica (°C)		Precipitação Acumulada (mm)
	Mínima	Máxima	
Itapetininga/SP	13,7	24,8	1.249,3
Santa Cruz do Rio Pardo/SP	15,0	27,1	1.346,1
Itirapina/SP	15,2	25,6	1.340,4
Rio Claro/SP	14,7	25,0	1.300,5
Tambaú/SP	15,5	26,5	1.413,2

Quanto aos diferentes tipos de sintomas verifica-se que, independente da propriedade analisada, há uma correspondência em termos de intensidade, onde aquelas onde os frutos apresentaram níveis mais baixos de severidade de sintomas do tipo mancha dura, também o foram em relação aos do tipo falsa melanose. O contrário também se aplica para situações cujas propriedades apresentem níveis mais elevados de severidade. No patossistema *Citrus-G. citricarpa*, por tratar-se de planta perene e predominantemente autógama é certo que a variabilidade genética seja muito menor ou processa-se mais lentamente quando comparada com aquela em plantas anuais alógamas. Neste contexto, dada à suscetibilidade das variedades de laranjas doces, às características biológicas do fungo e as condições propícias para o desenvolvimento da doença no estado de São Paulo, presume-se que tal patógeno uma vez presente, poderá apresentar taxas crescentes dos níveis de infecção, já que dispõe de duas formas efetivas para infecção: os conídios e os ascósporos. Tal ponto de vista mostra-se coerente com o exposto por KOTZÉ (1981), o qual ressalta que tal doença, uma vez presente em um determinado pomar tende a apresentar taxas progressivas de

infecção, como verificado nas condições da África. Além disso, os elevados níveis de severidade observados na propriedade D, onde a doença ocorre há mais tempo, também se constitui em alicerce para a hipótese apresentada.

Embora os sintomas do tipo falsa melanose não sejam exclusivos de infecções causadas por conídios, esses são os que mais contribuem para tal tipo de infecção. Dessa forma, considerando que as principais fontes de conídios sejam os frutos sintomáticos e a presença de ramos e galhos secos (NOZAKI, 2007), pode-se admitir que o maior nível de galhos secos encontre-se nas propriedades E, D e C, respectivamente. E neste contexto pode se presumir que existe relação entre os alinhamentos de plantios e predisposição das plantas para tal comportamento, sendo esses mais expressivos nos plantios realizados nos sentidos NE-SW e E-W, com reflexos estatisticamente significativos nas faces SE e NW, acompanhada por S.

Em relação ao número médio de frutos por árvore, no caso da propriedade A, os maiores níveis de produção foram observados nos alinhamentos de plantio N-S e E-W. Resultados semelhantes também podem ser observados nas propriedades B e D. Na propriedade C a maior produção foi coincidente com o alinhamento de plantio N-S, enquanto que na propriedade E o maior nível foi encontrado no alinhamento de plantio NE-SW sendo, porém este estatisticamente semelhante ao N-S. No caso dos valores médios a maior produção se no alinhamento de plantio N-S e a menor no NW-SE, sendo os valores estatisticamente diferentes, este padrão pode ser também observado ao se analisar as propriedades individualmente. Ao se analisar a face exposta da planta, confirma-se o resultado exposto para o alinhamento de plantio, uma vez que as faces perpendiculares a um alinhamento de plantio de alta contagem de fruto também tiveram valores similares o mesmo comportamento também é observado para alinhamento com baixa produção.

Em relação ao tamanho de fruto (Figura 50) representado pelo peso médio dos frutos não foram observados valores estatisticamente diferentes entre si nas propriedades B, C e D. Na propriedade A os maiores valores foram observados nos

alinhamentos de plantio N-S e E-W sendo similares, no caso da propriedade E o alinhamento de plantio E-W foi o que proporcionou frutos mais pesados. Analisando-se os valores médios constata-se que o alinhamento de plantio E-W foi estatisticamente diferente dos demais, produzindo os maiores frutos, enquanto que os alinhamentos NE-SW e NW-SE foram os que tiveram o menor peso de frutos. Em relação à face da planta exposta constata-se nos valores médios que as faces N, S foram as que proporcionaram maior peso de frutos, sendo, porém estatisticamente semelhantes à N. As faces NW e SE foram as que tiveram os menores pesos sendo estatisticamente similar às faces NE e SW.

A variável produção (Figura 51) incorpora o número de frutos e seu tamanho sendo, portanto o melhor indicador de produtividade das plantas. Ao se analisar a propriedade A, constata-se que os alinhamentos de plantio N-S e E-W foram os que estatisticamente atingiram os maiores níveis, resultado similar pode ser observado também na propriedade B. Para o caso das propriedades C e D o maior nível de produção foi observado no alinhamento N-S. A propriedade E por sua vez não apresentou diferença estatística entre os alinhamentos de plantio e produção. Nos valores médios o maior valor de produção foi constatado no alinhamento de plantio N-S, o qual foi similar ao alinhamento E-W, os alinhamentos NW-SE e NE-SW foram os que proporcionaram as menores produções.

Quanto à face exposta da planta não foram observados valores estatisticamente diferentes nas propriedades D e E, para as demais propriedades foi constatado através do valor médio que as faces E, W, N e S foram as que proporcionaram as maiores produções, enquanto que as NE, SW, NW e SE os menores valores. Constatou-se que houve um gradiente no aumento da produção à medida que caminhava-se ao sul, padrão este que pode ser observado também na contagem de frutos, quanto ao peso médio dos frutos não foi possível a observação deste padrão. Este resultado é explicado pela maior sanidade dos pomares localizados ao sul e por uma condição de clima representado pela temperatura mais favorável ao desenvolvimento dos frutos, uma vez que é sabido que altas temperaturas na fase de fixação de frutos causam seu abortamento. Em relação ao

alinhamento de plantio constatou-se que os ângulos 0° e 90° representados respectivamente pelos alinhamentos de plantio E-W e N-S foram os que tiveram maior produtividade em função da insolação mais uniforme.

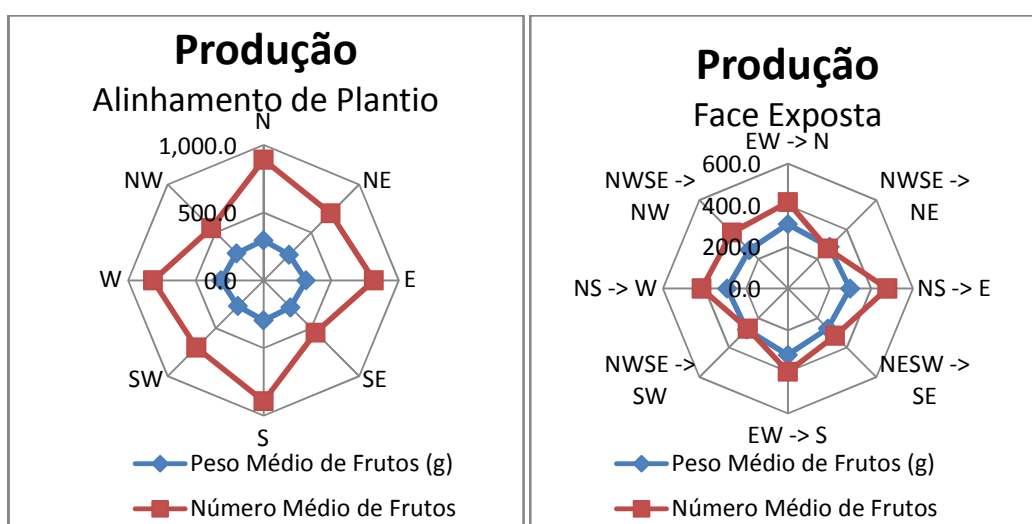


Figura 50 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na produção de frutos representada pelo peso médio e número médio de frutos (Jaboticabal, 2008).

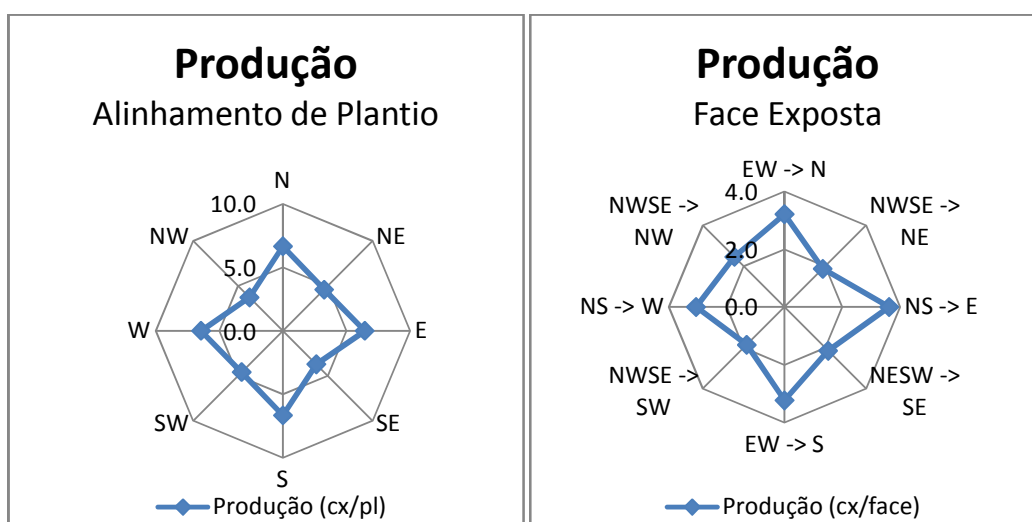


Figura 51 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na produção de frutos representada pelo número de caixas por planta ou face (Jaboticabal, 2008).

A qualidade do suco representada pelo ratio e °Brix (Figura 52) na propriedade A o ratio foi superior no alinhamento de plantio N-S e E-W, na propriedade C por sua vez os maiores valores foram observados no alinhamento de plantio E-W enquanto que na propriedade E no alinhamento de plantio NW-SE. Nas propriedades B e D não houve diferença estatisticamente significativa. Analisando-se os valores médio de ratio constata-se que o alinhamento de plantio E-W foi o proporcionou os maiores valores enquanto que o alinhamento NE-SW os menores. No ratio foi possível a observar que quanto mais ao Sul menor seu valor, em função do menor soma de graus-dia que as plantas foram expostas (VOLPE et al., 2002).

Em relação ao °Brix os maiores valores foram observados nas propriedades A e C nos alinhamentos de plantio N-S e E-W, enquanto que para a propriedade E os maiores valores são observados no alinhamento de plantio NW-SE e E-W. Nas propriedades B e D não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os alinhamentos de plantio. No caso dos valores médios de °Brix foi constado que o alinhamento de plantio E-W produziu o maior valor sendo estatisticamente diferente dos demais, enquanto que o alinhamento de plantio NE-SW proporcionou a menor leitura. Não foi possível a observação de um padrão de comportamento do °Brix em função da região geográfica da propriedade.

Apesar da observação de um padrão no ratio em relação à latitude, não foi possível a observação de outros padrões, indicando que amostras mais representativas são necessárias para identificação da relação alinhamento de plantio e face exposta da planta com a qualidade do suco.

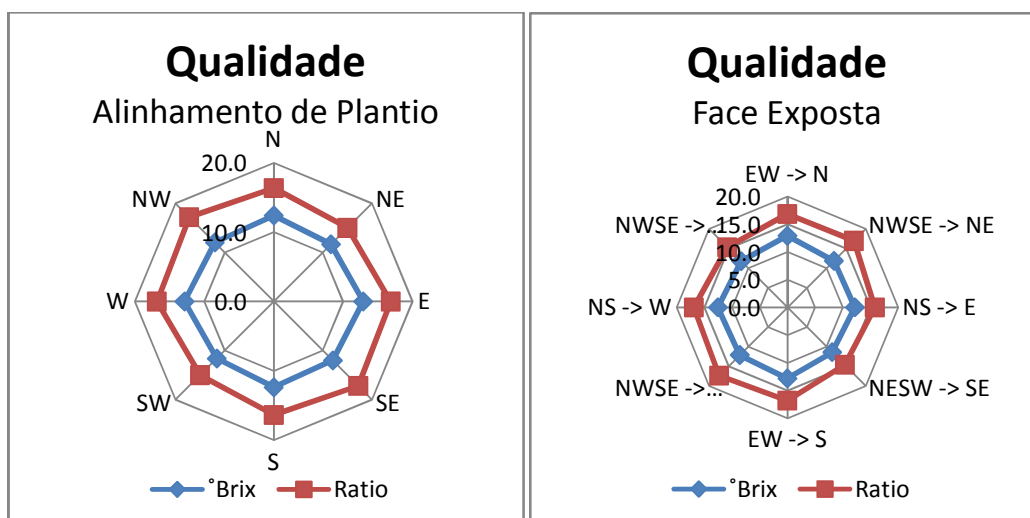


Figura 52 – Efeito do alinhamento de plantio (esquerda) e da face (direita), na qualidade dos frutos, representada pelo °Brix e Ratio (Jaboticabal, 2008).

3.5. CONCLUSÕES

Os alinhamentos de plantio N-S e NW-SE proporcionaram menor severidade da doença, enquanto que os alinhamentos E-W e NE-SW os maiores níveis da macha preta dos citros, expressos nos sintomas mancha dura e falsa melanose. Em relação à produção os alinhamentos de plantio N-S e E-W proporcionaram maior número de caixas por planta, enquanto os alinhamentos de plantio NW-SE e NE-SW a menor. Quanto à face exposta os resultados foram similares ao alinhamento de plantio correspondente. Em relação à qualidade do suco não foi possível a observação de um padrão definido do comportamento do ratio e °Brix em relação ao alinhamento de plantio. Porém foi possível a observação da latitude no valor do ratio onde propriedades localizadas mais ao tiveram menores valores.

CAPÍTULO 4 - REFERÊNCIAS

AHMEDULLAH, M. Training and Trellising Grapes for Production in Washington. **Cooperative Extension Bulletin EB637**, Washington, 2006. 12p.

ALTAMIRANO, D.M.; GONZALES, C.I.; VIÑAS, R.C. Analysis of the devastation of leaf-mottling (greening) disease of citrus and its control program in the Philippines. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 7th, 1976, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1976. p.22-26.

AUBERT, B. *Trioza erytrae* Del Guercio and *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: *Psylloidea*), the two vectors of citrus greening disease: biological aspects and possible control strategies. **Fruits**, Montpellier, v. 42, p. 149–162, 1987.

BALDASSARI, R.B. **Influência de frutos sintomáticos de uma safra na incidência da *Guignardia citricarpa* na safra subsequente e período de suscetibilidade de frutos de laranjeiras ‘Natal’ e ‘Valência’.** 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

BARBOSA, J.C.; MASSARI, C.A.; AYRES, A.J. Incidência e distribuição do greening (HLB) no estado de São Paulo. In: **Semana de Citricultura**, 30th, 2008, Cordeirópolis. Cordeirópolis: Centro APTA Citros ‘Sylvio Moreira’, Disponível em: <http://www.centrodecitricultura.br/palestras/2008/quinta/Quinta_feira_09h00min_Levantamento_amstral_do_greening.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2008.

BASSANEZI, R.B.; BUSATO, L.A.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; GOTTWALD, T.R. Preliminary spatial pattern analysis of Huanglongbing in São Paulo, Brazil. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 16th, 2005, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 2005. p.341-355.

BHAVAKUL, K.; INTAVIMOLSRI, S.; VICHITRANANDA, S.; KRATUREUK, C.; PROMMINTARA, M. The current citrus disease situation in Thailand with emphasis on citrus greening. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 1st., 1981, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: International Society of Citriculture, 1981. p. 464-466.

BOVÉ, J.M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal Plant Pathology**, v. 88, p. 7-37, 2006.

BOVÉ, J.M.; GARNIER, M. Phloem and xylem restricted plant pathogenic bacteria. **Plant Science**, v. 164, p. 423-438, 2002.

CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W.; BROUER, B.H. Spatial analysis of fertility for site-specific crop management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1240-1248, 1994.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CATLING, H.D.; ATKINSON, P.R. Spread of greening by *Trioza erytreae* (Del Guercio) in Swaziland. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL

ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 6th, 1974, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1974. p. 33-39.

COLETA-FILHO, H.D.; TARGON, M.L.P.N.; TAKITA, M.A.; DE NEGRI, J.D.; POMPEU JR, J.; MACHADO, M.A. First report of the causal agent of Huanglongbing (*Candidatus Liberibacter asiaticus*) in Brazil. **Plant Disease**, v.88, p. 1382, 2004.

FAGAN, C. & GOES, A. Controle da mancha preta causada por *Guignardia citricarpa* e sua influência nas características tecnológicas de frutos de laranja 'Natal'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 32th, 1999, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1999. v. 24. p. 281.

FOLEGATTI, M.V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84 f. Tese (Livre – Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

FUNDECITRUS. **Revista do Fundecitrus**, v 143, 12p. Disponível em: <http://www.fundecitrus.com.br/revista/fundec_ed143_completa.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2008.

GALLO, D.; MONTENEGRO, H.W.S. Ocorrência de psíldeos nos pomares paulistas. **Revista de Agricultura**, v. 35, p. 41-42, 1960.

GARNIER, M.; DANIEL, N.; BOVÉ, J.N. The greening organism is a gram negative bacterium. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 9th, 1984, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1984. p. 115-124.

GATINEAU, F.; LOC, H.T.; TUYEN, N.D.; TUAN, T.M.; HIEN, N.T.D.; TRUC, N.T.N. Effects of two insecticide practices on population dynamics of *Diaphorina citri* and huanglongbing incidence in South Vietnam. In: HUANGLONGBING - GREENING INTERNATIONAL WORKSHOP, 1st, 2006, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: Huanglongbing - Greening International Workshop, 2006. p. 110.

GOES, A.; ANDRADE, A.G.; MORETTO, K.C.K. Efeito de diferentes óleos na mistura benomyl + mancozeb no controle de *Guignardia citricarpa*, agente causal da mancha preta dos frutos cítricos. **Summa Phytopathologica**, v. 26, p. 233-236, 2000.

GOES, A.; RODAS, V.Z.; RODAS, T.H.Z.; BERETTA, M.J.G.; DERRICK, K.S. Control of citrus black spot in an organic grove in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF CITRICULTURE CONGRESS, 10th, 2004, Agadir. **Proceedings...** Agadir: International Society of Citriculture Congress, 2004. p. 90.

GOTTWALD T.R.; BERGAMIN-FILHO, A.; BASSANEZI, R.B.; AMORIM, L.; IREY, M.; ZHAO, X.; AUBERT, B. Concepts in Huanglongbing Epidemiology. In: INTERNATIONAL WORKSHOP FOR THE PREVENTION OF CITRUS GREENING DISEASE IN SEVERELY INFECTED AREAS, 1st, 2006, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: International Research Center for Agricultural Forestry Fisheries, 2006. p. 1-10.

GOTTWALD, T.R.; GRAÇA, J.V.; BASSANEZI, R.B. Citrus Huanglongbing: The Pathogen and Its Impact. **Plant Health Progress**. Saint Paul, set. 2007. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/online/feature/huanglongbing/>>. Acesso em: 9 nov. 2008.

GOTTWALD, T.R.; AUBERT, B.; HUANG, K.L. Spatial pattern analysis of citrus greening in Shantou, China. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 11th, 1991, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1991a. p. 421-427.

GOTTWALD, T.R.; GONZALES, C.I.; MERCADO, B.G. Analysis of the distribution of citrus greening in groves in the Philippines In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 11th, 1991, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1991b. p. 414-420.

GOTTWALD, T.R.; AUBERT, B.; ZHAO, X. Preliminary analysis of citrus greening (Huanglungbin) epidemics in the People's Republic of China and French Reunion Island. **Phytopathology**, v. 79, p. 687-693, 1989.

GRAÇA, J.V. Citrus greening disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 29, p. 109-136, 1991.

GROSSBERG, S. How does a brain build a cognitive code ? **Psychological Review**, v. 87, p. 1-51, 1980.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988. 145 p.

HALBERT, S.E.; MANJUNATH, K.L. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: *Psyllidae*) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. **Florida Entomologist**, v. 87, n. 3, p. 330-353, 2004.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. 2 ed. Porto Alegre : Bookman, 2001, 900p.

HEBB, D.O. **The organization of Behavior: A neuropsychological Theory**. New York:Wiley, 1949.

HOPFIELD, J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 79, p. 2554-2558, 1982.

IBGE, Malha Digital de Municípios 2007
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2007/Malha_Municipal_Digital_2007_2500/Disseminacao_2007/Proj_Geografica/SIRGAS2000/ArcView_Shp/2007/E2500/Brasil/>. Acesso em 10 jun. 2008.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JAGOEIX, S.; BOVÉ, J.M. ;GARNIER, M. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the subdivision of the proteobacteria. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 44, p. 379-386, 1994.

KIELY, T.B. Preliminary studies on *Guignardia citricarpa* spp.: the ascigerous stage of *Phoma citricarpa* and its relation to black spot of citrus. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales**, v. 93, p. 249-292, 1948.

KIELY, T.B. Black spot of citrus in New South Wales coastal orchards. **The Agricultural Gazette**, v.1, p. 17-20, 1949.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological Cybernetics**, v. 43, p.59-69, 1982.

KOTZÉ, J.M. Black spot. In: WHITESIDE, J.O., GARNSEY, S.M., TIMMER, L.W. (Org.) **Compendium of Citrus Diseases**. Saint Paul: APS Press, 1988. p. 10-12.

KOTZÉ, J.M. **Studies on the black spot disease of citrus caused by *Guignardia citricarpa* Kiely with particular reference to its epiphytology and control at Lebata**. 1963. Tese (PhD) - University of Pretoria. Pretoria, 1963.

KOVACS, Z.L. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: EDUSP, 1996, 174p.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2 ed. São Paulo: Fundação Editora da UNESP/FEU, 2003 253p.

LEITE, C.B.B. **Avaliação do impacto do reservatório de três irmãos sobre a superfície potenciométrica do aquífero livre na cidade de Pereira Barreto (SP) – uma abordagem numérica e geoestatística**. 2005. 214 f. Tese (Doutorado em Geociências – Área de concentração geociências e meio-ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

LIN, K.H. Observations on yellow shoot on citrus. Etiological studies of yellow shoot of citrus. **Acta Phytopathologica**, v. 2, p. 237-242, 1956.

MADDEN, L.V.; LOUIE, R.; ABT, J.J.; KNOKE, J.K. Evaluation of tests for randomness of infected plants. **Phytopathology**, v. 72, p. 195-198, 1982.

MARCHI, R.J. **Modelagem de curvas de maturação da laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) na região de Bebedouro - SP**. 1993. 107f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

MARTINEZ, A.L.; WALLACE, J.M. Citrus greening disease in Philippines. In: CONFERENCE OF THE INTERNACIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 1st, 1969, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1969. p. 1427-1431.

MATA, J.D.V. Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. 1997. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

McCLEAN, A.P.D.; SCHWARZ, R.E. Greening of blotchy-mottle disease of citrus **Phytophylactica**, v. 2, p. 177-194, 1970.

McCULLOCH, W.S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v. 5, p. 115-133, 1943.

McONIE, K.C. Germination and infection of citrus by ascospores of *Guignardia citricarpa* in relation to control of black spot. **Phytopathology**, v. 57, p. 743-746, 1967.

MINSKY, M.L.; PAPERT, S.A. **Perceptrons**. Cambridge: MIT Press, 1969.

MONTEIRO, R.C. **Gestão de recursos hídricos subterrâneos e o mapeamento espaçotemporal da superfície potenciométrica do sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil**. 2003. 138f. Tese (Doutorado em

Geociências – Área de concentração geociências e meio-ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

MULLA, D.J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. **Soil specific crop management**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p.15-26.

NOZAKI, M.H. **Produção de estruturas reprodutivas e efeito do ambiente nos tipos de sintomas produzidos por *Guignardia citricarpa* em citrus spp.** 2007. 85f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2007.

OBERHOLZER, P.C.J.; HOFMEYER, J.D.J. The nature and control of clonal senility in commercial varieties of citrus in South Africa. **Bulletin**, p. 46, 1955.

PANDE, Y.D. Biology of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuw. (Hemiptera: Psyllidae). **Journal of Entomology of Israel**, v. 6, p. 307-311, 1971.

PAZ, A.; TABOADA, M.T.; GÓMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrient contents in one-hectare cropland plot. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.27, n.3/4, p.479-503, 1996.

PREVEDELLO, B.M.S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta.** 1987. 166f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1987.

RAMOS, J.P.S. **Aplicação de redes neurais artificiais multicamadas estáticas no processo de seleção de frutos.** 2001. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Área de concentração em máquinas agrícolas) - Faculdade de

Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

RAYCHAUDHURI, S.P.; NARIANI, T.K. ; LELE, V.C. ; SINGH, G.R. Greening and citrus decline in India. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 5th., 1972, Swaziland. **Proceedings...** Swaziland: International Organization of Citrus Virologist, 1972. p. 35-37.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

REINKING, O.A. Diseases of economic plants in southern China. **Phil. Agric.** v. 8, p. 109-135, 1919.

ROSENBLATT, F. The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological review**, v. 65, p.386-408, 1958.

RUMELHART, D.E., HINTON, G.E., WILLIAMS, R.J. Learning representations of back propagation errors. **Nature**, v. 323, p. 533-536, 1986.

SALIBE, A.A.; CORTEZ, R.E. Studies on the leaf mottling disease of citrus in the Philippines. **FAO Plant Protection Bulletin**, v. 14, p. 141-144, 1966.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Dependência espacial dos teores de macronutrientes da parte aérea da *Crotalaria juncea* em área de erosão acelerada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.115-122, 1995.

SCHUTTE, G.C., KOTZÉ, J.M. Grass mulching as part of an integrated control programme for the control of citrus black spot. **Citrus Journal**, v. 7, p.18-20, 1997.

SCHWARZ, R.E. The distribution of greening in citrus areas of South Africa. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 4th., 1968, Riverside. **Proceedings...** Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1968. p. 124-127.

SCOTT, H.D.; MAUROMOUSTAKOS, A.; HANDAYANI, I.P.; MILLER, D.M. Temporal variability of selected properties of loessial soil as affected by cropping. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1531-1538, 1994.

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de São Paulo, **Previsão da safra agrícola de laranja do estado de São Paulo, ano agrícola 2007/2008**: 1º levantamento, maio de 2008. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/mercado/laranja0508.pdf>. Acesso em 11 set. 2008.

SILVA JÚNIOR, R.L. da. **Variabilidade espacial do índice de correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

SINCLAIR, W.B. **The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits**. 2 ed. Riverside: Agriculture & Natural Resources, 1984. 946p.

SOULE, I.; GRIERSON, W. Anatomy and physiology. In: WARDOWSHI, W.F.; NAGY, S. (Ed.) **Fresh citrus fruits**. New York: Florida Science Source, 1986, p.1-22.

SOUZA, L.C. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

SPÓSITO, M.B. **Dinâmica temporal e espacial da mancha preta (*Guignardia citricarpa*) e quantificação dos danos causados à cultura dos citros**. 2003. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de concentração em Fitopatologia) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TABOR, J.A.; WARRICK, A.W.; PENNINGTON, D.A.; MYERS, D.E. Spatial variability of nitrate in irrigated cotton: I. Petioles. **Soil Science. Society of America Journal**, v.48, p.602-607, 1984.

TEXEIRA, D.C.; SAILLARD, C.; EVEILLARD, S.; DANED, J.L.; COSTA, P.I.; AYRES, A.J.; BOVÉ, J. *Candidatus* Liberibacter americanus, associated with citrus huanglongbing (greening) disease in São Paulo State, Brazil. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 55, p. 1857-1862, 2005.

THOMPSON, S.K. **Sampling**. New York: Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.

TIMMER, L.W. Diseases of fruit and foliage. In: TIMMER, L.W., DUNCAN, L.W. (Ed.). **Citrus health management**. Florida: APS Press, 1999. p. 107-123.

TIRTAWIDJAJA, S. Insect, dodder and seed transmissions of citrus vein phloem degeneration (CVPD). **Proc. International Soc. Citriculture** v. 1, p 469-471, 1981.

TURATI, D.T. **Efeito de filme de partículas de caulim sobre a seleção hospedeira e desenvolvimento de *Diaphorina citri* Kuwayama em *Citrus sinensis* (L.) Osbeck**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de concentração em Entomologia) - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VAN VUUREN, S.P., **Huanglongbing**. The official name for greening disease of citrus. Inligtingsbulletin, Instituut vir Tropiese en Subtropiese Gewasse, v.287, p.5-6, 1996.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.175-184, 1983.

VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F. Utilização da análise de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva na crotalária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.7, p.7-10, 1987.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.54, n.2, p.405-412, 1995.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.

VOLPE, C.A., SCHÖFFEL, E.R., BARBOSA, J.C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.2, p.436-441, 2002.

WIDROW, B., HOFF, M.E., Adaptive switching circuits. In: **IRE WESCON Convention Record**, p 96-104, 1960.

XU, C.F.; XIA, Y.H.; LI, K.B.; KE, C. Further study on the transmission of citrus huanglungbin by a psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS, 10th., 1987, Riverside, **Proceedings...**Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1987. p. 24-32.

XU, C.F.; XIA, H.Y.; LI, K.B.; KE, C. Further study of the transmission of citrus huanglungbin by a psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION OF CITRUS VIROLOGISTS. 10th., Riverside. **Proceedings...**Riverside: International Organization of Citrus Virologist, 1988. p. 243-248.

YAMAMOTO, P.T. Estratégias de controle químico de *Diaphorina citri* . In: SIMPOSIO HUANGLOGGING (HLB, EX-GRENING) NO ESTADO DE SÃO

PAULO, 2006, Cordeirópolis. **Anais...** Cordeirópolis: Centro APTA Citros 'Silvio Moreira' do IAC, 2006.