



Número: 132/2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Andrea Koga-Vicente

**INCERTEZAS NA ESPACIALIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, IMPACTOS
ASSOCIADOS E PREVISÃO DE RISCO NO LITORAL PAULISTA**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Profa. Dra. Lucí Hidalgo Nunes

Co-orientadores: Prof. Dr. Armando Zaupa Remacre e Prof. Dr. Michael James Friedel

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto - 2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

K822i Koga-Vicente, Andrea.
Incertezas na espacialização da precipitação, impactos associados e
previsão de risco no litoral paulista / Andrea Koga-Vicente--
Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientadores: Luci Hidalgo Nunes, Armando Zaupa Remacre, Michael
James Friedel.
Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

1. Impacto ambiental. 2. Análise espacial (Estatística). 3.
Precipitação (meteorologia). I. Nunes, Luci Hidalgo. II. Remacre,
Armando Zaupa. III. Friedel, Michael James. IV. Universidade
Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. V. Título.

Título em inglês: Uncertainty in precipitation spatialization, impacts associated and risk prediction in the coast of the state of São Paulo.

Keywords: - Environmental impact;
- Spatial analysis (Statistics);
- Precipitation (Meteorology).

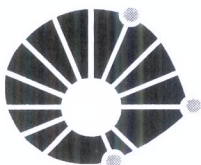
Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Ciências.

Banca examinadora: - Luci Hidalgo Nunes;
- Carlos Afonso Nobre;
- Cleuza A. G. Pereira Zamparoni;
- Iracema F. A. Cavalcanti;
- Regina Célia de Oliveira.

Data da defesa: 30/08/2010

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA NA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTORA: Andréa Koga Vicente

“Impactos Socioambientais Associados à Precipitação no Litoral Paulista e Incertezas.”

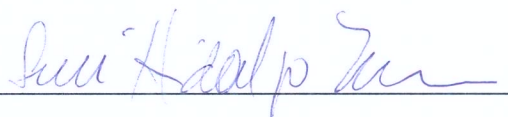
ORIENTADORA Profa Dra Lucí Hidalgo Nunes

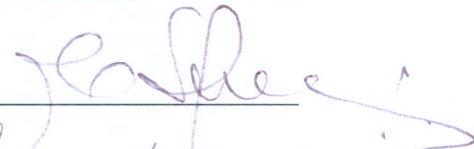
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Armando Zaupa Remacre

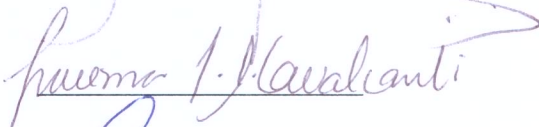
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Michael Jaimes Friedel

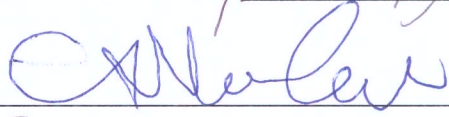
Aprovada em: 30/08/2010

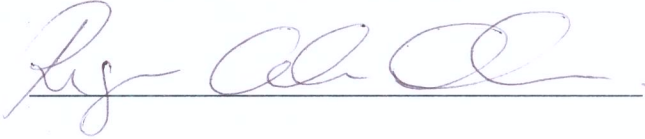
EXAMINADORES:

Profa. Dra. Lucí Hidalgo Nunes  Presidente

Profa. Dra. Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni 

Profa. Dra. Iracema Fonseca Albuquerque Cavalcanti 

Prof. Dr. Carlos Afonso Nobre 

Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira 

Campinas, 30 de agosto de 2010.

Dedico este trabalho aos
Meus meninos Eduardo e Luiz Felipe
E aos meus pais Mário e Ana.

Agradecimentos

A pesquisa científica é um processo que só é possível devido ao esforço de muitas pessoas. Gostaria de expressar meus mais profundos e sinceros agradecimentos àqueles que colaboraram das mais diversas formas para tornar este trabalho possível:

Profa. Dra Lucí Hidalgo Nunes por compartilhar comigo seus conhecimentos e amizade durante todos esses anos;

Prof. Dr. Armando Zaupa Remacre pela paciência em me guiar nos caminhos da Geoestatística, pelos ensinamentos profissionais e pessoais que me fizeram avançar;

Prof. Dr. Michael James Friedel por sua imensa generosidade no ato de ensinar e por me desvendar o mundo da modelagem;

Meu marido Luiz Eduardo Vicente, pelo apoio irrestrito, pela ajuda em várias etapas desta pesquisa, em especial, no sensoriamento remoto, e especialmente por seu companheirismo em todos os momentos;

Amigo Moacir pela mega paciência, por dividir seu profundo conhecimento em geoestatísticas, pelo apoio e boas risadas ao longo desta jornada;

Prof. Dr. Emilson Pereira Leite pelas explicações de matemática e modelagem;

Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli, eterno mestre, pela ajuda com os dados e pelas sugestões;

Membros da banca de qualificação: Profa. Dra Cleuza Zamparoni e Profa. Dra. Iracema Cavalcanti pelas sugestões;

CEPAGRI, especialmente ao Prof Dr. Jurandir Zullo Júnior, pela cessão dos dados consistidos de precipitação;

IPMet, em especial à pesquisadora Georgia Pellegrina, pela cessão de dados de impactos;

Membros da Defesa Civil de Santos, pela cessão de dados de impactos;

Flávia Lisboa, Flavinha, pela ajuda com os dados climáticos e pela força em muitos momentos;

Meninas super-poderosas da secretaria de pós, Valdirene (Valzinha), Gorete e Ednalva, não há palavras para agradecê-las...

Pessoal da informática: Paulo, Ricardo e Maicon, por socorrer meu computador que sempre insistia em fazer greve nos momentos cruciais;

Funcionários da biblioteca;

Integrantes do Projeto Estudos da Previsibilidade de Eventos Meteorológicos Extremos na Serra do Mar, pelo apoio, discussões e sugestões, em especial à Dra Chou Sin Chan;

Amigos do LECLIG: Araki, Cláudia, Daniel, Flávio, Marina Sória, pela amizade e apoio;

Amigos de sala Kênia, Marcelo, Patrícia, Roberta, Rodrigo e Silvana, pelas conversas, pelas discussões que enriqueceram o trabalho e pela amizade;

Meus familiares por me apoiarem e acreditarem em mim, e em especial, ao meu filho Luiz Felipe, por entender o investimento do nosso tempo...

MUITO OBRIGADA!!!

Sumário

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Um panorama teórico sobre a incerteza.....	5
2.1.1. Definições de incerteza.....	8
2.1.2. Fontes de incerteza.....	9
2.1.3. Técnicas empregadas na análise de incertezas.....	12
2.2. A relação entre a precipitação e os atributos da superfície: incertezas associadas.....	14
2.3. Caracterização e estimativa de risco.....	18
2.4. Área de estudo.....	19
2.4.1. Aspectos populacionais e socioeconômicos da Baixada Santista e Litoral Norte.....	26
3. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	33
3.1. Hipótese.....	33
3.2. Objetivo Geral.....	33
3.3. Objetivos Específicos.....	33
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	35
4.1. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 5.....	36
4.2. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 6.....	41
4.3. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 7.....	46

4.4. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 8.....	58
5. INVESTIGAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE 1994/95 A 2003/04 NAS REGIÕES DA BAIXADA SANTISTA E LITORAL NORTE PAULISTA.....	67
5.1. Escala anual.....	67
5.2. Variabilidade espacial da precipitação anual e a incerteza espacial associada.....	72
5.3. Distribuição da precipitação diária.....	77
6. OCORRÊNCIAS DE IMPACTOS RELACIONADAS A EPISÓDIOS PLUVIAIS.....	81
6.1. Análise da distribuição temporal e espacial dos eventos de precipitação impactante.....	82
6.1. 1. Episódios pluviais impactantes: distribuição dos montantes.....	85
6.1. 2. Magnitude dos episódios pluviais impactantes.....	89
7. CENÁRIOS DOS EPISÓDIOS PLUVIAIS IMPACTANTES E INCERTEZAS.....	95
7.1. Análise estrutural da distribuição da precipitação.....	95
7.2. Elaboração dos cenários espaciais.....	103
8. PROPOSTA DE MODELOS PREDITIVOS DE IMPACTOS ASSOCIADOS À PRECIPITAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO LITORAL PAULISTA.....	123
8.1. Seleção das variáveis.....	123
8.2. Análise das variáveis utilizando o SOM.....	126
8.3. Proposta de modelo preditivo de impactos para a Baixada Santista e Litoral Norte.....	133
8.3.1. Abordagem utilizando o SOM.....	133
8.3.2. Modelos de Regressão Linear Múltipla.....	136
9. CONCLUSÕES.....	141
10. ANEXOS.....	149
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163

Lista de Figuras

2.1. Localização da Área de estudo.....	20
2.2. Setores de litoral paulista de acordo com o plano de gerenciamento costeiro.....	21
2.3. População da Baixada Santista e Litoral Norte.....	27
2.4. Densidade demográfica populacional da Baixada Santista.....	27
2.5. Taxa de urbanização nos municípios da Baixada Santista e Litoral Norte.....	28
2.6. Índice de Desenvolvimento Humano e Índice de Gini nos municípios da RMBS e do Litoral Norte.....	29
2.7. Áreas de risco com moradias na Baixada Santista e Litoral Norte.....	30
4.1. Fluxograma das etapas de trabalho.....	35
4.2. Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 5.....	37
4.3. Informações sobre os postos selecionados para a pesquisa.....	39
4.4. Localização dos pluviômetros com séries históricas de 10 anos consistidas pelo CEPAGRI.....	40
4.5. Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 6.....	42
4.6. Características das fontes de informação para a elaboração do Banco de Dados de Impactos na área de estudo.....	43
4.7. Exemplo do cabeçalho do banco de dados de impactos.....	45
4.8. Exemplo do cabeçalho do banco de dados da precipitação nos episódios pluviais impactantes.....	45
4.9. Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 7.....	46
4.10. Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 8.....	58
4.11. Informações sobre as variáveis utilizadas para a composição do Banco de Dados para a modelagem.....	59

5.1. Precipitação média anual no período de 1994/95 a 2003/04 na área de estudo.....	68
5.2. Distribuição da precipitação entre os anos de 1994/95 a 2003/04.....	68
5.3. Anomalias da precipitação e sistemas atmosféricos.....	69
5.4. Distribuição espacial da precipitação anual.....	74
5.5. Valores de desvio padrão da precipitação anual.....	76
5.6. Distribuição percentfílica dos valores de chuva em 24h.....	78
5.7. Porcentagem de dias com precipitação nos 10 anos analisados.....	79
5.8. Distribuição anual dos eventos pluviais em 24 h.....	80
6.1. Duração dos eventos pluviais intensos nos municípios da Baixada Santista e Litoral Norte.....	82
6.2. Ocorrências de episódios pluviais impactantes por ano e município.....	83
6.3. Distribuição mensal dos episódios pluviais impactantes.....	85
6.4. Distribuição dos montantes dos episódios pluviais impactantes.....	86
6.5. Distribuição estatística dos montantes dos episódios pluviais impactantes.....	87
6.6. Relações entre o montante pluvial impactante e a) o pico, e b) a duração.....	88
6.7. Porcentagem de vítimas em episódios pluviais impactantes.....	89
6.8. Correlação entre o montante do episódio pluvial impactante e o número de vítimas.....	90
6.9. Correlação entre o número de vítimas e a) avanço de sistemas frontais e b) condições de ENOS.....	91
6.10. Distribuição do número de vítimas por município considerando o grau de confiabilidade.....	92
6.11. Relação dos episódios pluviais impactantes que deixaram mais de 100 vítimas.....	93
7.1. Estatística exploratória dos eventos pluviais impactantes.....	96
7.2. Distribuição espacial e temporal da precipitação dos dias que compuseram os episódios pluviais impactantes.....	98
7.3. Variância temporal da precipitação diária.....	100

7.4. Histograma dos valores de precipitação transformados em gaussianos.....	101
7.5. a) Variograma experimental em modelo do variograma ajustado, b) validação cruzada do ajuste do modelo do variograma.....	102
7.6. Histogramas de a) dados krigados; b) dados de precipitação originais; c) dados de precipitação simulados; d) dados simulados com deriva externa da altimetria; e) dados simulados com deriva externa da declividade e f) dados simulados com exposição de vertentes.....	104
7.7. Krigagem da precipitação.....	106
7.8. Cenários gerados pela simulação da precipitação (13/02/1996).....	107
7.9. Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da altimetria (13/02/1996).....	108
7.10. Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da declividade (13/02/1996).....	109
7.11. Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da exposição de vertentes (13/02/1996).....	110
7.12. Mapas de probabilidade de ocorrência de chuvas acima de 80, 0 mm/ 24 h em episódios pluviais impactantes - Precipitação e Precipitação com deriva da Altimetria.....	113
7.13. Cenários de probabilidade de ocorrência de chuvas acima de 80,0 mm/ 24 h em episódios pluviais impactantes – Precipitação com deriva da Declividade e da Exposição de vertentes.....	114
7.14. Histogramas dos resultados dos valores de desvio padrão das simulações a) precipitação; b) precipitação e altimetria; c) precipitação e declividade e d) precipitação e exposição de vertentes.....	115
7.15. Cenários de desvio padrão da precipitação (24h) de episódios pluviais impactantes- Precipitação e precipitação com deriva da Altimetria.....	116
7.16. Cenários de desvio padrão da precipitação (24h) de episódios pluviais impactantes- precipitação com deriva da declividade e precipitação com deriva da exposição de vertentes.....	117
7.17. Cenários apresentando em conjunto a probabilidade e o desvio padrão- Precipitação; Precipitação e Altimetria.....	119
7.18. Cenários apresentando em conjunto a probabilidade e o desvio padrão- Precipitação e Declividade ; Precipitação e Exposição de Vertentes.....	120

8.1. Plano de componentes das variáveis do conjunto de treinamento.....	129
8.2. Matriz U da variável impactos (HAZ).....	131
8.3. Planos de componentes das variáveis do conjunto de validação.....	132
8.4. Sumário da performance do modelo RNA.....	134
8.5. Resposta binária de impacto para o conjunto de validação como função de a) municípios e b) anos.....	135
8.6. Sumário da performance dos modelos de Regressão Linear Múltipla.....	139
8.7. Sumário da performance geral dos modelos propostos.....	140

Lista de Abreviaturas

ASTER: *Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

CEPAGRI: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

DRI: *Disaster Risk Index*

EEM: Espectro Eletromagnético

ENOS: El Niño Oscilação Sul

EOS: *Earth Observing System*

GDEM: *Global Digital Elevation Model*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDL: *Interactive Data Language*

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPMet: Instituto de Pesquisas Meteorológicas

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IVT: região espectral do Infravermelho Termal

IVOC: região espectral do Infravermelho de Ondas Curtas

LECLIG: Laboratório de Climatologia do Instituto de Geociências da UNICAMP

MDE: Modelo Digital de Elevação

METI: *Ministry of Economy and Industry* (do Japão)

NASA: *North American Spacial Agency*

PEC: Padrão de Exatidão Cartográfica

RBMS: Região Metropolitana da Baixada Santista

RNA: Rede Neural Artificial

SRTM: *Shuttle Radar Topographic Mission*

SDE: Simulação com Deriva Externa

SOM: Mapa Auto-Organizável (do inglês *Self-Organizing Map*)

SSG: Simulação Sequencial Gaussiana

TSM: Temperatura da Superfície do Mar

UNDP/BCPR: *United Nations Development Programme/ Bureau for Crisis Prevention and Recovery*

UNDRO: *United Nations Disaster Relief Organization*

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

VIS: região espectral do Visível

ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Pós-Graduação Geografia

Área: Análise Ambiental

Incertezas na espacialização da precipitação, impactos associados e previsão de risco no litoral paulista

RESUMO

Tese de Doutorado

Andrea Koga-Vicente

A incerteza é inerente ao funcionamento do sistema hidrometeorológico. Neste trabalho buscou-se incorporar esse conceito no estudo sobre as precipitações que causam impactos nas regiões da Baixada Santista e Litoral Norte paulista. Considerando que as incertezas epistêmicas podem ser diminuídas a partir do melhor conhecimento sobre o fenômeno, foram realizadas investigações sobre as chuvas que deflagraram impactos, e admitindo que as incertezas aleatórias possam ser minimizadas por meio de ferramentas que demonstrem possíveis cenários para o desenrolar do evento, foram elaborados mapas de probabilidade, de desvio padrão e propostas modelagens preditivas. Com base em informações levantadas sobre os impactos associados à chuva que ocorreram em doze municípios entre 1994/95 e 2003/04, foi investigada a distribuição espacial e temporal dos registros e da pluviometria associada. Verificou-se que os eventos pluviais que causaram problemas são compostos por chuvas contínuas com um pico mais intenso, sendo que em 1999/00 e 1995/96 houve maior ocorrência de impactos registrados. Embora os maiores totais pluviométricos tenham ocorrido em Bertioga, os municípios de Santos e Guarujá apresentaram mais problemas; por outro lado, o maior número de vítimas foi registrado em Ubatuba, indicando que embora a vulnerabilidade seja o cerne do impacto, a suscetibilidade determinou a magnitude das pessoas afetadas. A partir da simulação estocástica foram elaborados cenários de distribuição espacial das precipitações com e sem a incorporação de variáveis físicas relacionadas, resultando em mapas que apontam locais com maior probabilidade de serem atingidos por chuvas acima de 80,0 mm/24h durante episódios pluviais impactantes e de mapas que representaram a incerteza associada à variabilidade espacial, fortemente associada à escarpa da Serra do Mar. Estes mapas podem ser usados como ferramenta no planejamento regional, bem como os modelos de predição de impactos propostos a partir da utilização de duas abordagens: (1) o Mapa Auto-Organizável, uma rede neural artificial não supervisionada, indicada para relações não-lineares e (2) uma técnica empírica de Regressão Linear Múltipla, tradicional em estudos preditivos. Os modelos propostos apresentaram entre 71% e 82% de acurácia na predição de ocorrências de impactos deflagrados por precipitações.

Palavras-chave: Impacto ambiental – Análise espacial (Estatística) – Precipitação (Meteorologia)



**UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE
Department of Geography**

Uncertainty in precipitation spatialization, impacts associated and risk prediction in the coast of the state of São Paulo

**ABSTRACT
Ph.D Thesis
Andrea Koga-Vicente**

Uncertainty is part of the hydrometeorological system working. This research looked for ways to incorporate this concept in the study about the precipitations that cause impacts in Baixada Santista area and the North Coast of São Paulo state. Regarding that the epistemic uncertainties can be decreased when better knowledge about the phenomenon is acquired, investigations about the rain which cause impacts were made, and assuming that the random uncertainties can be decreased by using tools that show possible scenarios to develop the event, maps of probability and standard deviation were made, and also predictive modelings were proposed. Based on information raised about the impacts associated to rain that happened in twelve municipalities between 1994/95 and 2003/04, the spatial and time record distribution and the associated rainfall were studied. The rainfall events that had caused problems were mostly compound of continuous rain with a stronger peak, being in 1999/00 and 1995/96 the largest impacts recorded. Although the greatest total rainfall amounts happened in the city of Bertioga, major impacts were recorded in Santos and Guarujá. However, most victims were recorded in the city of Ubatuba showing that, although vulnerability is the core of the impact, the susceptibility determined the magnitude of people affected. By applying the stochastic simulation, scenarios of spatial distribution of precipitations were created with and without the incorporation of related physical variables. It resulted in maps that show locations with great probability of being reached by rain over 80.0 mm/24h during impacting rainfall episodes and maps that represent the uncertainty associated to the spatial variability strongly associated to the Serra do Mar escarpment. These maps can be used as tools to a regional planning, as well as the prediction models of impacts proposed from the use of two approaches: (1) the Self-Organized Map, an artificial neural net unsupervised, indicated to non-linear relations, and (2) an empirical technique of Multiple Linear Regression, traditional in predictive studies. The proposed models showed between 71% and 82% of accuracy in predicting impact caused by rainfalls.

Keywords: Environmental impact – Spatial analysis (Statistics) – Precipitation (Meteorology)

Capítulo 1

Introdução

Todos os anos são registrados milhares de desastres relacionados a eventos de chuvas intensas ao redor do globo. Escorregamentos de terra, inundações, alagamentos e desabamentos são alguns exemplos dos impactos deflagrados pelas precipitações e que deixam centenas de milhares de vítimas entre desalojados, desabrigados e mortos.

No contexto de um mundo em que as mudanças ambientais estão ocorrendo de forma acelerada, as catástrofes decorrentes de fenômenos naturais vêm crescendo, sendo que os eventos hidrometeorológicos têm grande contribuição para este padrão, em conjunto com a ocupação de áreas de risco. A explosão demográfica e a superlotação dos grandes centros urbanos, aliadas à crescente concentração de renda em escala mundial, incrementam assentamentos precários, expondo a população ao risco.

Nos países pobres localizados nos trópicos esse panorama é ainda mais alarmante, derivado de uma combinação crítica entre a extrema precariedade de infra-estrutura, ocupação de áreas inadequadas a assentamentos humanos e grande suprimento de energia para a formação de eventos de chuva intensa, de modo que mesmo montantes pluviais não tão significativos vitimam um contingente significativo de pessoas.

A adoção de medidas preventivas por parte dos órgãos responsáveis encontra obstáculo na dificuldade de previsão da ocorrência espacial e temporal das precipitações intensas. A complexidade da dinâmica atmosférica tropical e sua interação com os elementos da superfície tornam mais intrincada a compreensão da gênese e do desenvolvimento de eventos catastróficos, aumentando o grau de incertezas decorrente do conhecimento incompleto do sistema climático.

Cada vez mais, vem crescendo a percepção de que estimativas robustas do nível de risco devem considerar a análise das incertezas. Se até recentemente, a incerteza inerente aos sistemas naturais era ignorada e, até mesmo, indesejada, nas pesquisas ambientais e na esfera dos tomadores de decisão os desdobramentos não previstos da ação humana, que culminaram na

atual crise ambiental, ressaltam que políticas que desconsideram a avaliação das incertezas, frequentemente têm levado a resultados insatisfatórios.

Uma das medidas para redução da incerteza configura-se no crescente conhecimento da dinâmica do sistema. No caso da precipitação, essa tarefa envolve alto grau de complexidade, devido às inúmeras interações entre os elementos que resultam no fenômeno pluvial, haja vista que para as previsões meteorológicas e climáticas são utilizados recursos técnicos e tecnológicos entre os mais avançados, tais como os supercomputadores com capacidade para realização de cálculos extremamente complexos e sofisticados mecanismos para coleta de dados, que procuram modelar essas complexas relações. Não obstante os significativos avanços alcançados nas últimas décadas há ainda muitas incertezas acerca da previsão dos eventos extremos.

O conhecimento sobre a distribuição espacial da precipitação igualmente configura-se como de difícil compreensão. A delicada interação entre a atmosfera fluida e a rugosidade da superfície terrestre resulta em um comportamento altamente caótico. Desta forma, a redução da incerteza em relação à espacialização da chuva envolve a integração das variáveis da superfície que exercem influência na dinâmica pluvial.

A adoção de políticas públicas sérias e comprometidas com a prevenção frente aos desastres deflagrados pelas chuvas intensas, concretizadas por medidas de planejamento, é o principal instrumento para diminuir os impactos, e principalmente, a perda de vidas humanas. A informação produzida pelos estudos científicos é um poderoso instrumento no auxílio de planejamento eficiente.

Sob este prisma, a complexidade geoecológica da região leste da costa brasileira imprime elevado grau de incerteza à dinâmica atmosférica, o que dificulta a tomada de medidas preventivas que possam diminuir a vulnerabilidade da população. O grande suprimento de energia derivado de sua posição tropical em interação com a umidade oceânica cria condições para elevada convecção, fato dinamizado por se tratar de local de transição de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais, resultando em elevada pluviosidade.

A encosta da Serra do Mar, importante feição topográfica da região, atua como elemento intensificador e como sítio de ocupação de risco, com expressivo número de assentamentos, alguns extremamente precários, mas outros, dotados de excelente infraestrutura-estrutura. De grande importância econômica no escoamento de produção e procurado pólo turístico, o já

elevado contingente populacional cresce com a circulação de pessoas, em especial no verão, período de intensos aguaceiros.

Considerando o contexto exposto, este trabalho propõe o estudo da espacialização da precipitação nos setores Litoral Norte e Baixada Santista localizados no litoral paulista, local onde as chuvas intensas deflagram impactos decorrentes de deslizamentos de encosta e alagamentos, fazendo grande número de vítimas, buscando apontar áreas com maior/menor suscetibilidade.

Considera-se que a análise das incertezas é de suma importância para embasar políticas e ações na área, por meio da apresentação de cenários possíveis da distribuição das precipitações intensas, que podem ser elaborados a partir de técnicas probabilísticas como a simulação estocástica, sendo tais técnicas aptas para produzir mapas que apontem áreas com maior/menor probabilidade de, por exemplo, ocorrência de alturas pluviométricas acima de determinados limiares. A baixa cobertura de pluviômetros verificado na região é fonte de incerteza, e foram utilizadas técnicas que permitem a integração de variáveis correlacionadas com a distribuição da precipitação, tais como a altimetria e a cobertura da terra, no intuito de acurar a estimativa da variável principal.

Contudo, a precipitação atua como agente deflagrador, mas a vulnerabilidade da população é o outro fator determinante para a ocorrência do desastre, e por isso, foi proposta a elaboração de modelos que considerem em conjunto a suscetibilidade e a vulnerabilidade na área.

Para a realização das propostas expostas, a tese encontra-se organizada nos seguintes capítulos:

No Capítulo 1 é feita a introdução da tese explicitando a problemática.

No Capítulo 2 é realizada a revisão de literatura, com uma breve discussão teórica sobre as incertezas, buscando delinear os fundamentos histórico-científicos que permeiam o conceito. São expostas definições utilizadas em alguns ramos científicos, fontes de incertezas e técnicas empregadas para sua avaliação. A seguir são discutidas as incertezas associadas na relação entre a precipitação e os atributos da superfície, em especial com o relevo, fator de grande importância local. Neste capítulo também é apresentada a complexidade da área de estudo.

No Capítulo 3 são apresentados a hipótese e os objetivos do trabalho.

No Capítulo 4 a metodologia adotada no trabalho é explicitada, apresentando os materiais e dados levantados. As técnicas utilizadas são citadas, e é realizada uma rápida exposição das

técnicas geoestatísticas de simulação estocástica e de simulação com deriva externa empregadas para a simulação de cenários equiprováveis de precipitação. O mesmo procedimento é feito com respeito à técnica de rede neural não-supervisionada mapa auto-organizável.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados da análise da precipitação para os doze municípios da área de estudo, no período de 1994/95 a 2003/04, nas escalas anual e diária. Esta análise exploratória teve o objetivo verificar a variabilidade da chuva, e servir como parâmetro para a análise contextualizada dos episódios pluviais impactantes.

No Capítulo 6 a partir do levantamento da ocorrência de impactos registrados por municípios, foi realizada a seleção dos dias com chuvas associadas e analisados em termos de sua distribuição temporal, espacial e sistemas atmosféricos relacionados.

No Capítulo 7 é utilizada a simulação estocástica para elaboração dos mapas de probabilidade, que apontaram áreas com probabilidade de serem atingidas por chuvas acima de limiares determinados. Os mapas foram elaborados considerando (i) apenas a precipitação, (ii) a precipitação integrada com a altimetria, (iii) a precipitação integrada com a declividade e (iv) a precipitação integrada com a exposição de vertentes. Também foram gerados mapas que apontam a incerteza espacial associada à variabilidade.

No Capítulo 8 é proposta uma modelagem a partir das abordagens (i) de redes neurais artificiais não supervisionadas utilizando o Mapa-Auto Organizável, que é indicado para modelagem de dados complexos, com características não lineares e multidimensionais, e (ii) empírica, empregando a Regressão Linear Multivariada, técnica tradicionalmente utilizada em modelos predição.

No Capítulo 9 são realizadas as discussões finais.

No Capítulo 10 encontram-se os anexos.

No Capítulo 11 estão relacionadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

2.1 UM PANORAMA TEÓRICO SOBRE A INCERTEZA

A incerteza é parte da vida cotidiana. Convivemos com ela em diversas situações e momentos, e desenvolvemos as mais variadas estratégias para lidar com os imprevistos. O planejamento em diferentes níveis – do pessoal ao global - tenta a antecipação ao inesperado, buscando abranger o maior espectro de acontecimentos “prováveis” para aquela situação, no intuito de elaborar táticas para evitar fatos indesejáveis e, em alguns casos, prejudiciais.

Semanticamente, incerteza tem entre suas definições “variabilidade” (WEISZFLOG, 2007). É um aspecto natural e esperado, tanto em sociedade quanto nos sistemas físicos, pois decorre do conhecimento incompleto de todas as variáveis e suas combinações, que podem influenciar o desenrolar dos fatos. Porém, para a sociedade atual, se constitui em fonte de angústia e sua ocorrência é muitas vezes encarada como um acontecimento anormal, pois na modernidade nasce “o ideal de que o homem poderá dominar tecnicamente a Natureza e a sociedade” (CHAUI, 2001, p.56) e ter maior controle sobre os acontecimentos. Dessa forma, a incerteza adquiriu nova conotação, associando-se à idéia de catástrofe decorrente do descontrole ou da ineficácia.

Pode-se considerar que essa visão de eficiência e controle que permeia a sociedade contemporânea tem dois pilares principais. O primeiro, é fortemente fundamentado na concepção da ciência como fonte de verdade absoluta, concepção delineada a partir de Bacon e consolidada por Descartes, Newton e Comte, colocado em cheque pela física contemporânea que demonstrou que não há verdades absolutas na ciência; o segundo, intimamente relacionado ao primeiro, diz respeito ao paradigma de domínio da natureza (CAPRA, 1982), pois se o homem, por meio de seu entendimento racional, é capaz de fazer previsões sobre os fatos naturais, pode então, antecipar-se a eles. No entanto, em face às novas questões ambientais, este ponto de vista é cada vez mais questionado.

Thomas (1988) coloca que a expressão “civilização humana” era sinônimo de conquista da natureza. A Europa Ocidental, já na Idade Média, tornou-se particularmente mais dependente dos recursos naturais:

“ A civilização da Europa medieval seria inconcebível sem o boi e o cavalo. [...] O emprego de animais para carga e tração fornecia ao europeu do século XV uma força motriz cinco vezes superior à dos contemporâneos chineses [...], as sociedades asteca e inca da América contavam com menos animais que seus conquistadores europeus; foram os espanhóis que introduziram os cavalos, bois, ovelhas e porcos no Novo Mundo. Além disso, os europeus eram extremamente carnívoros em comparação com os povos vegetarianos do Oriente” (*Ibid*, p.31)

A Escolástica, com forte influência religiosa, fornecia o suporte filosófico para a suposta superioridade humana e direito de exploração da natureza neste período, trazendo a concepção de que o homem era o centro da criação e os elementos do meio foram criados para satisfazer suas necessidades. No mito do pecado original, o homem perdera o controle sobre a natureza, sendo que este pertencia a Deus. Predominava a fé sobre a razão (CHAUI, 2001) e não era da competência humana entender os desígnios da natureza. Os fenômenos naturais e as catástrofes associadas eram consideradas manifestações metafísicas, e a incerteza residia no conhecimento humano incompleto da vontade divina.

Com a ascensão do modo capitalista de produção e o crescimento na exploração dos recursos, havia a necessidade de maior conhecimento e controle dos processos naturais e, conseqüentemente, ocorre mudança no paradigma que avaliza as novas práticas.

Galileu, no início do século XVI, revolucionou a ciência ao “combinar a experimentação científica com o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza por ele descobertas” (CAPRA, 1982). Para possibilitar a descrição da natureza através da linguagem matemática, postulou que apenas as propriedades essenciais dos corpos materiais passíveis de quantificação deveriam ser estudadas. Uma de suas declarações mais célebres é “o livro da natureza está escrito com caracteres matemáticos”. Por meio de seu postulado, Galileu torna patente a matematização da natureza iniciada com os gregos e aprimorada por Copérnico e Kepler. Porém, a análise matemática não era desenvolvida nesse período e foi somente a partir da criação da Geometria Analítica por Descartes, e do cálculo diferencial integral por Newton e

Leibniz que a análise dos fenômenos naturais por meio da matemática tornou-se efetivamente possível (VARGAS, 1996).

Considerado “o arauto da modernidade” Bacon advoga que através da ciência a humanidade recuperaria o controle sobre as coisas criadas, perdido por ocasião do pecado de Adão (PAULA, 2008). Salientou que o controle sobre as forças naturais teria o objetivo de “coagir a natureza a servir a propósitos humanos” (LOSEE, 1979). Para atingir este propósito prático, concebeu o método empírico-indutivo que busca a formulação de leis gerais que regem os fenômenos, considerando-as invariáveis, no intuito de entendê-los através destas leis (VICENTE e PERES FILHO, 2003). Ao considerá-las *invariáveis*, lança bases para o que culminaria em uma pretensa abolição das incertezas nos estudos científicos.

Na visão de Déscartes (1596-1650) a ciência é conhecimento certo e evidente, devendo-se apenas acreditar no que é perfeitamente conhecido e sobre as quais não pode haver dúvida (CAPRA, 1982). Elaborou como método científico o mecanicismo, que asseguraria “o emprego adequado da razão nas suas duas operações intelectuais fundamentais: a intuição e a dedução” (RUBANO e MOROZ, p.204, 2004). Brilhante matemático, concebeu a matéria como pura extensão com comprimento, largura, espessura, e que apenas poderia ser explicada e compreendida em sua essência como uma grandeza a ser medida por meio da utilização da geometria analítica (VARGAS, 1996).

Com Newton e a revolução científica ligada às suas pesquisas, a matematização da natureza e a idéia de entendimento e controle dos processos se materializa, derivando de sua importante obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* de 1687, o chamado “determinismo ambiental”. De acordo com Newton “qualquer fenômeno físico observado empiricamente corresponde exatamente a um modelo matemático de axiomas pré-estabelecidos como verdadeiros” (*Ibid*, p.256), no qual a natureza é considerada previsível como uma máquina, com um funcionamento mecânico de causa e efeito. Uma das principais consequências foi o tratamento dos sistemas através de um entendimento linear.

A natureza passa a ser concebida como “o reino das relações necessárias de causa e efeito ou das leis naturais universais e imutáveis” (CHAUI, 2001, p.57) passível de ser entendida, prevista, manipulada e controlada.

A dificuldade em estabelecer um axioma para a experiência do corpo negro foi um dos principais pilares para a mecânica quântica, que se refletiu em uma mudança de paradigma na forma de conceber e analisar os fenômenos naturais.

Northrop (1981) considera que a introdução do conceito de probabilidade para especificar o estado de um sistema físico é a principal diferença entre a abordagem quântica e a newtoniana. Na teoria newtoniana não há espaço para valores probabilísticos; o estado de qualquer sistema isolado, em dado instante, é completa e precisamente especificado pelo conhecimento empiricamente adquirido dos valores que correspondem à posição e ao momento linear de cada uma das partes desse sistema. Já em mecânica quântica, na interpretação de um sistema físico a observação poderá consistir em uma única leitura de um conjunto complexo de dados, mas o resultado só poderá ser expresso em termos de distribuição de probabilidades.

“Isso não significa que, na mecânica de Newton ou na de Einstein, não haja lugar para o conceito de probabilidade. Todavia, nesses dois casos, esse conceito se restringe à teoria dos erros, por meio da qual a precisão do Sim e do Não, isto é, a verificação ou não confirmação da predição da teoria é avaliada. Portanto, o conceito de probabilidade restringiu-se à relação epistemológica do cientista na verificação do que ele conhece, estando todavia, ausente na formulação teórica desse conhecimento.” (*Ibdi*, p. 133).

A incerteza, ou seja, a proposta de análise do sistema utilizando os princípios de distribuição de probabilidades vem adquirindo crescente relevância, em especial, quando aplicados à distribuição espacial, onde para os valores desconhecidos há *possibilidades* de valores estimados, o que oferece a visualização da incerteza embutida na variabilidade espacial. Observa-se a transição de uma perspectiva linear e determinística para uma concepção estocástica nos estudos de sistemas ambientais.

2.1.1 Definições de incerteza

O conceito de incerteza nas ciências é intrinsecamente ligado ao domínio das disciplinas, assumindo, portanto, diferentes significados (CHAUBEY *et al.*, 1999; SAMSON *et al.*, 2009).

No âmbito das investigações de eventos extremos, Park (1991) coloca que a incerteza pode ser definida por uma função de probabilidade, ou seja, em termos da possibilidade que um evento catastrófico de uma dada magnitude ocorra em um determinado local e em um período de

tempo especificado. Assim, o “passado é a chave para o futuro”, pois as estimativas de uma provável ocorrência de eventos em um futuro devem ser baseadas na experiência de episódios passados, e se essa informação estiver disponível, pode ser usada para prever a possibilidade de ocorrências de acidentes no futuro, baseada na estimativa probabilística. Esta concepção embasa diversos estudos e modelos e tem uma grande parcela de contribuição em diversas metodologias científicas. Contudo, no panorama atual de um mundo em constante e rápidas mudanças, inclusive no sistema climático, novas possibilidades ainda não vivenciadas ou registradas, tal como o fenômeno Catarina, fazem com que essa premissa seja utilizada com crescente parcimônia.

Nos estudos espaciais, a incerteza é concebida como uma imprecisão quantificável de um ponto estimado (MOWRER, 2000) representado por um valor escalar como desvio padrão, probabilidade ou a diferença entre dois valores de dados (BOTCHEN *et al.*, 2006).

Em geoestatística, Olea (1991) a define como falta de garantia sobre a veracidade de um resultado ou sobre a exata magnitude de uma medida ou valor desconhecido, sendo um conceito central na tomada de decisão nos estudos sobre risco. É medida por parâmetros, tais como intervalo de confiança, intervalos de probabilidade e erros padrão.

Em um estudo de dados volumétricos ¹, Newman e Lee (2004) conceituaram incerteza como erro em uma medida, e em particular, erro no valor escalar em um conjunto de dados volumétricos, sendo que a incerteza para cada medida do conjunto de dados é independente e, consequentemente, pode variar.

2.1.2 Fontes de incertezas

Mowrer (2000) coloca que a incerteza resulta da inerente variabilidade na predição de estados alternativos do sistema e dos processos naturais ao longo do tempo.

Casti (*apud* Ferson e Ginzburg, 1996) discute a existência de dois tipos principais de incerteza, fundamentalmente diferentes entre si: a primeira, a incerteza epistêmica, resulta do conhecimento incompleto sobre o sistema e está relacionada à nossa habilidade em entender, medir e descrever o sistema sob investigação. Esta fonte de incerteza pode, a princípio, ser reduzida pelo crescimento no conhecimento sobre o sistema, por meio do estudo suficiente e do

¹ Dados volumétricos: conjunto de pontos no espaço 3D, sendo que cada ponto têm um valor associado (X,Y,Z)

conhecimento dos especialistas. A segunda forma, a incerteza aleatória, é derivada da variabilidade subjacente aos sistemas estocásticos ao longo do espaço e do tempo, sendo inerente ao comportamento natural e imprevisível do sistema. (HORA, 1996; APEL *et al.*, 2004 e PATÉ-CORNELL, 1996).

Associando tais fatos ao tema central do presente estudo, salienta-se que a incerteza aleatória pode ser exemplificada pelos montantes de eventos extremos de precipitação ou do número de vítimas, que terão variação a cada episódio. A epistêmica corresponderia ao mecanismo de tipos particulares de extremos de precipitação.

Os dois tipos de incerteza respondem a diferentes formas de investigação: enquanto a epistêmica pode ser reduzida pelo estudo adicional ou melhoramento nas técnicas de mensuração, a variabilidade tem uma realidade objetiva que independe do estudo empírico para diminuí-la, podendo apenas ser melhor estimada em termos de magnitude da variabilidade, mas isto não tende a reduzi-la (FERSON & GINZBURG, 1996).

A divisão de incertezas é, obviamente, fruto de uma necessidade didática para a identificação de suas fontes e para a seleção dos métodos de investigação, mas na natureza, esta divisão não existe. As fontes de incerteza - variáveis ou probabilidades que são rotuladas como aleatórias ou epistêmicas - dependem do objetivo da investigação, pois se em um estudo algumas variáveis assumem o papel de incertezas aleatórias, em outro, elas podem ser concebidas como incerteza epistêmica (HORA, 1996), sendo que essa diferenciação é uma etapa importante na concepção do modelo de análise.

Paté-Cornell (1996) discute que as incertezas epistêmicas têm importante papel na gestão de riscos, principalmente quando a base de evidências de uma variável é pequena em uma área pouco conhecida, e há a tendência desta incerteza ser ignorada ou sub-relatada, principalmente em estudos de políticas públicas e/ou em assuntos polêmicos.

Em uma abordagem de cunho mais prático das incertezas, Pang *et al.* (1997) as categorizam em três tipos:

- i) estatística: valores dados pela média estimada e desvio padrão que podem ser usados para calcular o intervalo de confiança ou uma atual distribuição dos dados;
- ii) erro: uma diferença ou um valor absoluto de erro entre as estimativas dos dados, ou entre um dado correto conhecido e um estimado;

- iii) classe: um intervalo no qual o dado deve existir, mas o qual não pode ser quantificado nas definições estatísticas ou de erro.

As fontes de incerteza variam, também, em função do objeto de estudo, sendo que a precipitação apresenta ampla gama de variação natural, maximizada em setores complexos, como a Serra do Mar.

No que tange à análise espacial, tomar medidas completas dos elementos espacializados no mundo real é atualmente impossível, seja pelo custo elevado, seja pela incapacidade de armazenamento e processamento do volume de dados, tornando esta tarefa inviável, sendo necessário o uso de generalizações. Assim, Goodchild e Case (2001) consideram que uma das maiores fontes de incerteza espacial é a falta de um método formal de generalização.

Uma das abordagens usualmente utilizadas para a estimativa de dados em locais não amostrados, é a divisão da região de interesse em uma grade regular, que representa os valores da variável de interesse naquele ponto. Considerando que esta malha regular é gerada a partir de dados coletados de forma irregular ou esparsa, é necessário procedimento de interpolação para estimativa de pontos não amostrados. Phillips *et al.* (1992) consideram que a interpolação introduz incertezas no modelo, que tendem a se propagar e reproduzir no resultado final e, em geral, não é homogênea, pois depende do número e da proximidade dos dados usado para cada célula na interpolação.

Na modelagem hidrológica, a incerteza é função da incerteza nos dados de entrada, nos parâmetros do modelo e na estrutura do modelo (DULAL *et al.* , 2006).

Para o estudo da precipitação são utilizadas, de forma geral, duas fontes de dados: derivados de sensoriamento remoto, satélites ou radar, e coletados por estações ou postos pluviométricos. As causas de incerteza em dados de precipitação de estações podem estar associadas a:

- i) erro na medição: podem ser aleatórios ou sistemáticos, e estar associados a falhas nos instrumentos ou na observação. Os aleatórios têm ocorrência eventual, tal como um instrumento que sofre uma avaria temporária; já os sistemáticos acontecem por longo período, como um medidor instalado em local inadequado ou metodologia de coleta equivocada, e podem acusar tendências irreais;
- ii) variabilidade temporal e espacial, se refletindo no conhecimento incompleto do sistema.

2.1.3 Técnicas empregadas na análise de incertezas

A probabilidade é aceita como a linguagem matemática para a incerteza (WINKLER,1996; CHILÉS e DELFINER, 1999). Por meio de técnicas probabilísticas, importantes incertezas inerentes ao sistema são trazidas à tona e conhecidas, podendo até ser reduzidas em comparação com aqueles estudos que empregam apenas abordagens determinísticas ou subjetivas (US EPA, 1985).

Para Ferson e Ginzburg (1996), é necessário o uso de técnicas diferentes para a propagação matemática dos dois tipos de incerteza: epistêmica e aleatória. Considerando que os valores mudam no tempo, no espaço, entre indivíduos ou em algum outro eixo de variabilidade, as mesmas técnicas usadas para propagar diferentes tipos de incerteza levariam a resultados equivocados.

As incertezas aleatórias têm na teoria probabilística uma forma mais eficiente de propagação da variabilidade do sistema (FERSON E GINZBURG,1996), tais como a distribuição binomial (HORA, 1996). A abordagem probabilística sugere que um produto tem maior probabilidade de ser um valor próximo à tendência central que ser um valor extremo, pois há clara concentração da massa da probabilidade no centro da distribuição, ou seja, “a ajustagem no sistema pode levar ao aparecimento de respostas alternativas, todas elas possíveis, embora se possa pensar que as respostas mais comuns se organizem em torno do valor modal.” (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.113)

Neste contexto, Cooke (1991) coloca que as metodologias que empregam distribuições probabilísticas são um meio significativo de quantificar as incertezas, pois através de um conjunto de realizações alternativas, fornecem uma série de valores possíveis para a variável de interesse e uma medida quantitativa para a incerteza. São utilizadas técnicas de distribuição estatística caracterizada por uma medida de tendência central e uma dispersão de resultados alternativos (variância) em torno da tendência central ou valor esperado (MOWRER, 2000). A comparação dos vários resultados possibilita observar se as alternativas excedem um limiar realista ou determinar a mais confiável de várias alternativas prognosticadas (FRIEDEL, 2006).

A análise da incerteza espacial procura quantificar as variações nos resultados do modelo empregado, causadas pela incerteza nos parâmetros, onde cada parâmetro corresponde a um dado georreferenciado (JAGER e KING, 2004).

Os modelos de simulação estocástica são frequentemente utilizados para descrever a incerteza espacial, pois reproduzem o histograma representativo da amostra e a distribuição das probabilidades, gerando diversos cenários equiprováveis e as realizações permitem estabelecer limiares, simular cenários com diferentes percentuais de probabilidade e estabelecer áreas com maior ou menor grau de certeza para a interpretação.

A idéia da simulação é construir uma representação do fenômeno que é consistente com o dado observado e ainda reproduzir as flutuações dos dados estimados. Uma simulação não é a realidade, mas apenas uma das possíveis versões dela, entre inúmeras outras (CHILÉS e DELFINER, 1999).

Costa *et al.* (2008) empregaram a Cosimulação Sequencial Direta, uma variação do algoritmo de simulação estocástica, para incorporar a altimetria na simulação da precipitação em Portugal e calcular as incertezas relacionadas ao padrão espacial e temporal. As regiões com baixa cobertura de dados apresentaram maior incerteza, mas a incerteza foi menor na região montanhosa em virtude do uso da elevação como variável secundária.

Outra etapa importante na análise das incertezas é a apresentação das informações obtidas, de forma que elas possam ser visualizadas de maneira adequada e sirvam de subsídio para a interpretação.

A visualização pode ser definida como um processo envolvendo a transformação de dados brutos em uma representação gráfica (NEWMAN e LEE, 2004). Pang *et al.* (1997) consideram que o objetivo final é fornecer ao usuário visualizações que incorporem e reflitam a informação para auxiliar na análise dos dados e na decisão. Pode ser realizada, em geral, de três formas (PANG 2001):

- a representação da incerteza como um dado à parte, por exemplo, em um mapa;
- como parte do próprio dado; neste caso, existe a incorporação da informação da incerteza na visualização pelo mapeamento de transparências, sombras, manchas, etc. visando alterar a aparência do resultado principal, fornecendo áreas sujeitas a maior ou menor nível de certeza;
- animações: com o uso de imagens sequenciais animadas ou animações em tempo real de pontos que representam a incerteza.

2.2. A RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E OS ATRIBUTOS DA SUPERFÍCIE: INCERTEZAS ASSOCIADAS

A precipitação está entre os elementos físicos com maior grau de incerteza, em virtude de sua natureza caótica, inerente a toda a atmosfera.

A expressiva variabilidade temporal e espacial surge como uma das principais fontes de incerteza aleatória. O caráter discreto da ocorrência deste fenômeno se reflete de maneira contundente nos montantes diários, mensais, anuais, e também nas áreas de ocorrência. Esta variabilidade deriva tanto dos processos genéticos, que devido aos mecanismos físicos que prevalecem nas diferentes estações sazonais modificam os montantes no tempo cronológico, quanto na interação com as características geográficas, que afetam a distribuição do volume precipitado entre as localidades.

As incertezas epistêmicas relacionadas à precipitação têm suas principais fontes na gênese, dinâmica atmosférica e fatores da superfície que influenciam sua distribuição espacial e temporal. Embora o progresso no conhecimento da dinâmica tenha avançado exponencialmente em anos recentes, a complexidade das relações entre as escalas mostra que há ainda um longo caminho a ser percorrido.

No âmbito local, a dinâmica hidrometeorológica é altamente influenciada pelas rugosidades naturais e antrópicas. As feições do relevo figuram entre os principais condicionantes dos montantes e distribuição espacial, e embora a relação existente entre a precipitação e o relevo já seja bastante conhecida (CONTI, 1975; SMITH, 1979; BLANCO, 1999; CANDIDO e NUNES, 2009), os processos dessa interação são em geral simplificados (SMITH, 2006).

As incertezas na análise da distribuição espacial da precipitação aumentam em regiões montanhosas. Obter estimativas confiáveis é particularmente difícil quando a cobertura da área fornecida pelas estações existentes é esparsa ou quando as características da precipitação variam muito influenciadas pela diversidade da paisagem ou dos controles atmosféricos atuantes, sendo que esta situação frequentemente ocorre em terrenos montanhosos quando poucas estações estão disponíveis e os efeitos orográficos são marcantes (HEVESI *et al.*, 1992). Os pontos de coleta dependem de condições mínimas de instalação e manutenção; assim, em áreas de difícil acesso ou onde existe a probabilidade de depredação das estações há menos (ou nenhuma) coleta de dados limitando, portanto, a cobertura e caracterização das diferenças espaciais. Áreas elevadas,

por serem de difícil acesso, apresentam poucos ou nenhum posto, não caracterizando de forma satisfatória a distribuição espacial da precipitação.

Neste contexto, faz-se necessária breve revisão sobre as pesquisas relacionadas aos aspectos da superfície que influenciam a distribuição espacial da precipitação, em especial, a altimetria, com objetivo de reduzir as incertezas epistêmicas.

A precipitação orográfica é um dos pontos centrais da interação entre a superfície terrestre e a atmosfera (ROE, 2005).

A topografia exerce profundo efeito nos padrões espaciais da precipitação global, regional e local. Ela atua como barreira física que modifica e, frequentemente, intensifica a precipitação, quando sistemas atmosféricos pré-existentes se movem sobre áreas acidentadas, influenciando o fluxo de ar, perturbando a estratificação vertical da atmosfera e atuando como fonte ou sumidouro de calor (SMITH, 1979; BARROS e LETTENMAIER, 1995; SMITH, 2006).

Os resultados da interação entre terrenos elevados e precipitação dependem do alinhamento da barreira em relação aos ventos e de sua extensão. Os padrões da chuva orográfica podem variar significativamente no tempo e no espaço, relacionados à geometria da montanha, microfísica da nuvem e condições sinóticas, conforme assinalado por Roe e Baker (2006).

Um dos mecanismos mais conhecidos de intensificação orográfica é a ascensão forçada da massa de ar através de setores da escarpa mais voltados para a direção predominantes de ventos úmidos, produzindo resfriamento adiabático, condensação e precipitação (BARRY e CHORLEY, 1968). Este processo resulta em incremento da precipitação a barlavento, e sombra de chuva a sotavento. No estado de São Paulo, esse efeito pode ser sentido em áreas que apresentam ondulações (NUNES, 1990; CANDIDO e NUNES, 2009).

Entretanto, existem outras formas de interação entre a atmosfera e áreas acidentadas, que não apenas a ascensão forçada do ar.

As montanhas também atuam como barreiras que, ao invés de provocarem a ascensão forçada, podem bloquear o ar, fazendo com que ele permaneça estacionário ou, ainda, modificar sua trajetória (SIMPSON, 1979). Um exemplo de bloqueio é observado nas escarpas orientais do Havaí, onde devido à atuação os alísios formam-se bandas de precipitação durante o verão que se movem sobre o continente e vertem elevados montantes, sendo que essa dinâmica é desencadeada, em parte, pelo bloqueio representado pelas altas montanhas vulcânicas (SMITH, 2006). Outro tipo de intensificação ligado ao efeito de barreira é a intensificação da precipitação

relacionada à diminuição de velocidade no deslocamento de um sistema frontal ou ciclônico (BARRY e CHORLEY, 1968).

Devido à sua morfologia, a montanha pode sofrer aquecimento diferencial e gerar precipitação orográfica-convectiva (SMITH, 1979). As encostas são aquecidas pelo sol e o calor é transferido por condução e convecção de pequena escala para o ar adjacente, se deslocando dos níveis mais baixos (menos aquecidos) para a escarpa mais quente (baixa pressão). À medida que estas correntes térmicas ascendentes atingem o nível de condensação, são formadas nuvens do tipo cumulus, que podem se tornar cumulonimbus caso a atmosfera esteja bastante instável. Esse processo foi observado nas Montanhas Rochosas no Colorado, EUA, durante o verão, quando o aquecimento das encostas induz a ascensão térmica das parcelas de ar, resultando em tempestades vespertinas (HENZ, 1972).

Minder *et al.* (2008) analisaram quatro estações chuvosas nas Montanhas Olímpyc – Washington (EUA), buscando identificar padrões da precipitação em escala local. Foi revelado um padrão caracterizado pelo excedente acumulado entre 50-60% sobre as cristas em relação aos vales na média anual. O mecanismo responsável pela intensificação da precipitação no topo das cristas é similar ao modelo conceitual *seed-feeder* proposto por Bergeron: a ascensão do fluxo estável pela encosta a barlavento das cristas mais altas gera áreas de intensificação de condensação e a chuva resultante é intensificada pela coleta dos elementos de nuvens mais abaixo.

A variabilidade espacial da precipitação no Himalaia é fortemente controlada pela topografia, de acordo com Anders *et al.* (2006), com a existência de um gradiente de leste para oeste ao longo da barreira, com grandes diferenças entre os maiores vales e as cristas adjacentes. A pressão de saturação em superfície, fator derivado da topografia, foi identificado como fortemente associado com a precipitação.

Canellas e Merlier (1994) utilizaram uma técnica baseada em correlação linear multivariada, utilizando a topografia local para explicar as variações da chuva na escala diária, sendo que as variâncias explicadas pelo relevo variam entre 46% a 75% na localidade de estudo.

A Serra do Mar representa uma importante barreira que atua como intensificador da precipitação no litoral paulista, sendo que este efeito já foi observado em vários estudos (CONTI, 1975; SANT'ANNA NETO, 1990; NUNES, 1993).

Em um trabalho realizado por Blanco (1999) sobre os processos de intensificação orográfica da precipitação na Serra do Mar paulista, foi constatado que a atuação dos fenômenos de intensificação são comuns durante todo o ano na região, em especial na primavera. Houve predominância do mecanismos *seed-feeder*, seguido por evento misto (*seed-feeder* e convecção disparada), convecção disparada e auto-conversão. No trabalho da autora, é possível encontrar a descrição detalhada dos mecanismos de intensificação citados.

O relevo apresenta clara influência orográfica na precipitação da Ilha de São Sebastião, litoral paulista. Milanesi (2007) comparou os totais pluviais da vertente oceânica (exposta aos fluxos úmidos de SE) em relação à vertente continental (abrigada dos fluxos). Concluiu que a primeira recebe 60,1% da chuva, e a segunda, apenas 39,9%, caracterizando, portanto, um setor com intensificação orográfica e uma zona de sombra de chuva. À barlavento, os valores mais elevados foram observados acima dos 600m. A distância do oceano é outra feição da superfície muito influente nos padrões de precipitação. Em uma investigação sobre a influência dos fatores geográficos na precipitação do distrito de Kinki – Japão, Yamada (1990) concluiu que nas áreas com distâncias do litoral inferiores a 80 km, os totais de precipitação mensal estavam relacionados à distância do litoral e orientação da vertente; já nas localidades com mais de 80 km da costa, as precipitações eram mais influenciadas pela continentalidade e pela altitude.

Nos Alpes Franceses, áreas com registro de chuvas intensas estão relacionadas à influência do Mediterrâneo. Entretanto, as cadeias de montanhas se destacam como áreas de chuvas intensas e prolongadas (WEISSE e BOIS, 2001).

No nordeste da Espanha, a distância do mar e fatores topológicos locais comparecem como importantes parâmetros no pico de intensidade da precipitação, sendo que para a magnitude e duração, a declividade e a distância do mar foram mais influentes (BEGUERÍA *et al.*, 2008).

A vegetação também apresenta estreita interação com padrões de precipitação nas escarpas. As folhas das árvores podem atuar como superfícies para condensação de elementos de nuvens, em que as nuvens geradas pela ascensão forçada são removidas pelo impacto na folhagem. Por exemplo, uma sequóia de 30 metros pode captar o equivalente a 100 mm em uma noite (SMITH, 1989, *apud* BLANCO, 1999). Hevesi *et al.* (1992) argumentam que no sudeste de Nevada, EUA, mudanças no tipo de vegetação e aumento na densidade com a elevação são evidências indiretas do incremento da precipitação em altitudes mais elevadas.

2.3. CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DE RISCO

A caracterização do risco se dá pelos graus de vulnerabilidade e suscetibilidade de dado lugar. O risco é conceituado como a probabilidade de consequências prejudiciais como perdas de vidas, de bens materiais, pessoas feridas, interrupção de atividades econômicas etc. (UNDP/BCPR, 2004), resultante das interações entre eventos naturais e vulnerabilidade, sendo que esta última pode ser conceituada como uma condição social, uma medida de resistência ou resiliência social aos eventos naturais (BLAIKIE et al., 1994; HEWITT, 1997).

Nesta perspectiva, medidas que minimizem o risco são muito importantes, e Paté-Cornell (1996) coloca que o risco pode ser quantificado por meio de uma distribuição de probabilidade e resultados potenciais e, a partir desta informação, decisões coerentes relativas à gestão do risco podem ser tomadas mediante incertezas e escassez de recursos, elementos muito comuns no Brasil.

Ferramentas de análise de risco são um recurso de grande apoio no processo de tomada de decisão, embora seja importante frisar que a análise de risco é apenas um instrumento de informação, e não leva à melhor decisão, pois esta depende da consideração e análise de diversos elementos, e só pode ser tomada ante o julgamento do gestor (PATÉ-CORNELL, 1996).

Uma dos recursos para avaliação de risco são os modelos preditivos que buscam antecipar possíveis tendências no desenrolar dos eventos. Uma fórmula bastante utilizada para avaliação de riscos foi elaborada pelas Nações Unidas (UNDRO, 1979) e coloca que:

$$Risco = hazard \times população \times vulnerabilidade$$

A palavra *hazard* é de difícil tradução, e pode ser definida como “um perigo potencial para o ser humano e seu bem-estar” de acordo com Smith (1996). *População* é o número de pessoas vivendo em uma dada área exposta ao risco, e *vulnerabilidade* depende do contexto social, político e econômico desta dada população.

O relatório *Reducing disaster risk: a challenge for development* (UNDP/BCPR, 2004) publicado pelo Programa de Desenvolvimento da ONU, tem como componente central a equação *Disaster Risk Index* (DRI) que busca o entendimento das relações entre desenvolvimento e risco de desastres em nível global. A principal suposição por trás do modelo é que as diferenças nos níveis de risco mostrado por países com exposição a *hazards* similares são explicados por fatores

socioeconômicos (DAO e PEDUZZI, 2004), salientando a importância da dimensão humana na concepção do modelo. Um dos objetivos da ONU foi fornecer para planejadores e gestores uma ferramenta que permita a abordagem quantitativa da vulnerabilidade e do risco a *hazards*, de maneira a melhor antecipar, administrar e reduzir o risco a calamidades, e consequentemente, introduzir a dimensão “risco” no processo de planejamento (UNDP/BCPR 2004).

Marcelino *et al* (2006) propuseram uma adaptação da fórmula proposta pela ONU, de modo a incorporar variáveis alinhadas com a realidade brasileira.

Assim, considerando que a dimensão humana é componente fundamental na concretização de um impacto, o conhecimento das características socioeconômicas do lugar é tão importante quanto o conhecimento do fenômeno físico deflagrador do impacto.

2.4. ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho, foram investigados os setores Litoral Norte e Baixada Santista do litoral paulista abrangendo 4.308 km² (IBGE, 2009). Na figura 2.1 é possível observar o mapa da área de estudo, sendo que o detalhe da área mostra a hipsometria com tons escuros indicando altas altitudes e os claros, baixas altitudes. A divisão setorial adotada foi elaborada pelo Plano de Gerenciamento Costeiro (1988), que dividiu o litoral paulista em quatro setores: Litoral Norte, Baixada Santista, Vale do Ribeira e Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape e Cananéia (Figura 2.2) concebido com vistas ao Zoneamento Ecológico Econômico da zona costeira, tendo como base as características dos ecossistemas da região. A área de estudo abrange os dois setores mais orientais: Baixada Santista, composta pelos municípios de Peruíbe, Mongaguá, Itanhaém, Praia Grande, Guarujá, São Vicente, Santos, Cubatão e Bertioga; e Litoral Norte, com São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba. A decisão por esta regionalização tem como meta compatibilizar bases escalares de análise entre a esfera geográfica e gerencial, pois se espera que os resultados obtidos possam servir como subsídio para fins de tomada de decisão para área. Buscou-se, então, utilizar a setorialização já existente para essa esfera.

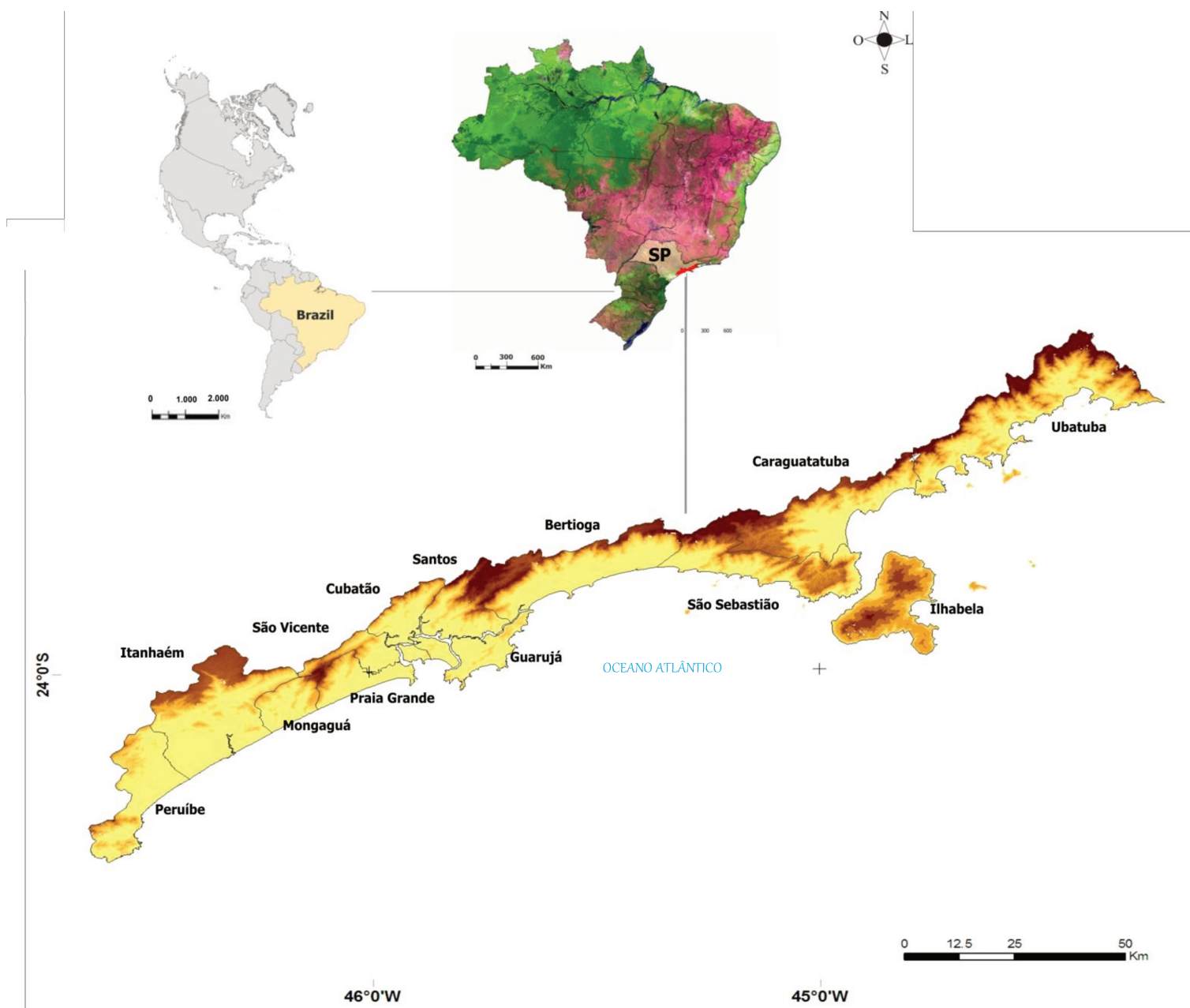


Figura 2.1 Localização da área de estudo. Áreas claras mostram baixas altitudes, e escuras altitudes mais elevadas.

Elaborado por: Andrea Koga-Vicente/ Luiz Eduardo Vicente

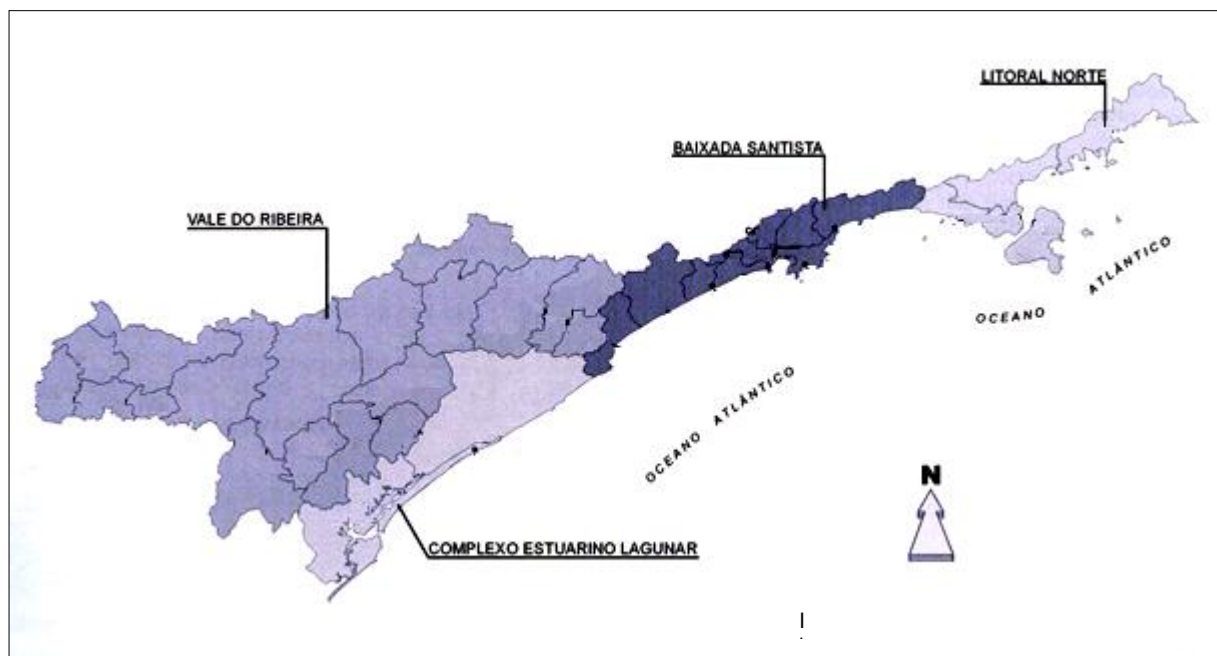


Figura 2.2 Setores do litoral paulista de acordo com o Plano de Gerenciamento Costeiro.

Fonte: http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/geren_cost_0811.htm

<acessado em 15/08/2007>

A principal motivação para a escolha dos dois setores se deu em função de maior número de registros de impactos associados às precipitações intensas nos municípios localizados nestas áreas, quando comparados ao setor sul. Esse alto índice de ocorrências revela a instabilidade natural do local, própria do meio tropical úmido, no qual o limiar de estabilidade é baixo, e é produto da associação das características geológicas e socioeconômicas.

O risco se caracteriza, particularmente, pelo significativo contingente populacional assentado em um terreno de topografia acidentada onde ocorrem precipita. A área abrange 13 municípios, com população de 1.763.116 habitantes (IBGE, 2009), atraída pela importância econômica e histórica do litoral paulista.

A Serra do Mar é uma das mais importantes feições geológicas do litoral paulista e representa um fator condicionante para aspectos físicos e populacionais da área. Caracteriza-se como um paredão abrupto e contínuo com altitudes que chegam a 2.000m, e de acordo com Ab'Saber (2003, p.17) “cada setor geológico e topográfico deste domínio tem seus próprios problemas de comportamento perante às ações antrópicas”.

O relevo acidente da região apresenta elevadas altitudes, sendo que o avanço da escarpa sobre a planície costeira em alguns pontos caracterizou a ocupação local como de alto risco, pois vários assentamentos se realizaram nos morros ou no sopé, bem como nas planícies de alagamento, em uma área caracterizada pelos altos montantes pluviais, que em alguns locais chegam a 4.000 mm/anuais, elemento que deflagra escorregamentos e alagamentos.

A Serra do Mar é uma região de importância estratégica para o Estado de São Paulo. Relevante via de ligação entre o litoral e o interior, foi percebida inicialmente pelos exploradores portugueses, ainda nos primórdios da colonização do território brasileiro, como um “obstáculo” entre a área litorânea (local de desembarque) e o interior a ser desbravado, onde estariam as riquezas (BRANCO, 1993). Em seus caminhos foram instalados povoados que posteriormente tornaram-se cidades e, portanto, foi uma das áreas pioneiras de ocupação e de interferência antrópica no Brasil. São Vicente detém o título de cidade mais antiga do Brasil havendo referências ao seu nome em mapas datados de 1502 (IBGE, 2009).

Após o aporte dos colonizadores no litoral, o vetor de exploração subiu a escarpa da Serra do Mar em direção ao Planalto Atlântico, onde foi fundado o município de São Paulo, importante centro econômico brasileiro. Esta ligação da capital paulista, núcleo produtor de bens industrializados, com o litoral, onde se localizam importantes portos voltados para o escoamento da produção para os mercados interno e externo, desenhou na serra vias de tráfego importantes, como a Via Anchieta e, mais recentemente, a Rodovia dos Imigrantes.

A Serra do Mar corresponde à borda do Planalto Cristalino, inserido no domínio dos Mares de Morros (*op. Cit.*, p.62), um dos mais complexos em relação à ocupação antrópica. A escarpa foi resultado do soerguimento da plataforma sul-americana durante o processo epirogenético ocorrido no Terciário Médio (ROSS, 2003).

Em seu conjunto caracteriza-se por um paredão abrupto e contínuo, onde as altitudes variam entre 800 a 2.000m. Na região do Litoral Norte, entre as Serras de Juqueriquerê e Parati a escarpa avança sobre a planície costeira, e apresenta vertentes de acentuada declividade, sendo observada a Serra de São Sebastião, que atua como importante feição na distribuição espacial da precipitação. O recuo da escarpa entre as serras de Juqueriquerê e Quilombo propicia a formação de praias na planície costeira, que se torna mais extensa entre as Serras do Quilombo e Mongaguá (ALMEIDA, 1964; HERZ, 1988).

A disposição das linhas gerais do relevo também contribui para a intensificação pluvial, por estarem orientadas no sentido de penetração dos principais sistemas produtores de precipitação na área.

“uma vez que ela [Serra do Mar] atua no sentido de aumentar a *turbulência* do ar pela *ascendência orográfica*, notadamente durante a passagem de *correntes perturbadas* que [...] correspondem às *frentes polares e as linhas de IT* [Instabilidade Tropical]” (NIMER, 1989).

Nimer (1989) no clássico trabalho sobre a climatologia no território brasileiro, coloca que os processos que desencadeiam a precipitação local são resultantes da complexa interação entre fatores de ordem estática e dinâmica que caracterizam a região. A posição geográfica tropical confere à área abundante suprimento de radiação solar, fato que, aliado à proximidade do oceano Atlântico fornece condições ideais para evaporação intensa, suprimindo a atmosfera adjacente com importante fluxo de umidade. Além da grande disponibilidade de umidade, o litoral também possui farto estoque de núcleos de condensação, essenciais para a formação de nuvens de chuva. O cloreto de sódio presente na atmosfera próxima ao oceano, as gotículas ionizadas lançadas ao ar pelas ondas e o material particulado em suspensão na atmosfera, derivados dos centros urbanos litorâneos, são os principais núcleos condensadores presentes na região e garantem significativa concentração desse componente nas camadas inferiores da atmosfera sobre a área de estudo.

De acordo com Monteiro (1973), em termos de circulação atmosférica regional a área encontra-se em zona de transição entre sistemas atmosféricos tropicais e subtropicais, refletindo-se em altos montantes pluviais.

Importantes sistemas atmosféricos atuam na região, sendo que a massa Tropical Atlântica (Ta) domina em grande parte do ano (MONTEIRO, 1973; NIMER, 1989) caracterizando-se por elevadas temperatura e umidade, embora a subsidência superior limite a umidade à camada superficial, favorecendo a mistura lateral e impedindo a vertical, imprimindo-lhe estabilidade e homogeneidade (NIMER, 1989) gerando tempo estável e temperaturas elevadas.

A Frente Polar Atlântica (FPA) é responsável por alterações na temperatura, nebulosidade e precipitação, trazendo, em geral, instabilidade e chuva intensa em virtude do soerguimento da Ta (SANTOS, 1965; CONTI, 1975). A passagem de frentes frias exerce importante papel na

intensidade e distribuição da precipitação e os maiores montantes são observados ao longo e atrás da frente, quando em seu deslocamento sobre o Sudeste (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009), caso a massa polar que impulsiona a frente fria possuir espessura suficiente, avança sobre o obstáculo representado pela Serra do Mar provocando chuvas frontais e orográficas na área (SERRA, 1975), contudo, se o anticiclone Atlântico estiver com as pressões mais elevadas, atua como uma barreira para a passagem das frentes, que estacionam sobre a região de Peruíbe, (SANT'ANNA NETO, 1990). São também frequentes a atuação das linhas de instabilidade tropical (IT) e depressões que se movem na vanguarda da FPA na gênese de precipitações intensas (CONTI e FURLAN, 2003).

Entre os anos de 1980 a 2002 foi observada a incursão de 50 a 60 sistemas frontais na região na maioria dos anos, não havendo grandes diferenciações para a ocorrência de frentes em anos de El Niño ou La Niña (ANDRADE, 2005).

Embora a variabilidade intranual da pluviosidade na região sudeste seja influenciada pelas diferentes fases da ENOS, cada episódio reflete-se de forma diferenciada, não sendo estabelecido um padrão único. Eventos particularmente fortes de El Niño promovem aumento da pluviosidade no sudeste, mais destacado no final do outono (principalmente em abril) e inverno (NUNES, 1997; GRIMM, 2009). Durante a atuação do El Niño é observada intensificação do jato subtropical na troposfera superior sobre o Pacífico, que se estende a leste no Atlântico ocidental, especialmente durante o final do outono ao início da primavera austral, sendo que na vizinhança do jato, frentes e ciclones são mais vigorosos, provocando anomalias positivas de chuva (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989), atingindo o sul do Brasil, e em alguns casos, a região sudeste. Coelho *et al.* (2002) identificaram uma região de fronteira entre as anomalias negativas e positivas de precipitação decorrentes da influência das condições do El Niño, localizada sobre o norte do estado de São Paulo (em torno de 22,5°S), separando uma área mais seca no NE do Brasil de outra mais úmida no S/SE.

Em 1982/83, durante um dos mais intensos El Niños, houve anomalias positivas intensas de precipitação sobre as regiões Sul e Sudeste (KAYANO e MOURA, 1986), relacionadas com a presença de bloqueios atmosféricos no período de maio a julho de 1983 (NOBRE e RENNÓ, 1985). Em contrapartida, no também intenso fenômeno de 1997/98, sobre a região sudeste foi observada elevação nas temperaturas, mas não nas anomalias de chuva (OLIVEIRA e SATYAMURTY, 1998).

Não obstante anos de atuação de La Niña já terem sido relacionados a decréscimo de precipitação na sul do Brasil (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989), não são observadas influências significativas na precipitação no Sudeste (GRIMM, 2009).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é outro importante elemento na gênese das precipitações intensas na área. Definida como uma zona de aumento da atividade convectiva, a, com atuação no verão austral, é um importante fator de larga escala que pode ser visualizada como uma banda de nebulosidade e chuvas que se estende da Bacia Amazônica ao sudeste do Brasil, com convergência de vento e umidade à superfície (KODAMA, 1992; CARVALHO *et al.*, 2002), fornecendo importante incremento de umidade nas suas áreas de atuação, sendo associada a períodos de chuvas intensas e prolongadas que deflagram escorregamentos e enchentes (ROCHA e GANDU, 1996; CARVALHO *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*, 2007, ROSEGHINI, 2007). Carvalho *et al.* (2002; 2004) investigaram o padrão espacial das ZCAS e a associação com eventos de precipitação intensa no estado de São Paulo, e concluíram que episódios de ZCAS oceânica (maior atividade convectiva sobre o Atlântico que sobre o continente) são importantes no incremento de precipitação no litoral sudeste do Brasil.

Relacionando a ocorrência de ZCAS às diferentes fases da ENOS durante 20 anos, Ferreira *et al.* (2004) observaram que em anos de El Niño houve a tendência de formação de 3 ZCAS por ano e que a atividade convectiva foi maior sobre o oceano; em anos normais e de La Niña, a ocorrência de ZCAS foi superior a 3, sendo também constatada uma maior convecção sobre o continente durante a atuação do La Niña. Episódios de El Niño favorecem a formação de ZCAS oceânicas persistentes (mais de 4 dias de atuação), que se relacionam ao aumento alagamentos e escorregamentos no litoral sudeste (CARVALHO, 2004).

Em estudo sobre dois episódios de precipitação intensa que deflagraram escorregamentos no setor norte da Serra do Mar, Cavalcanti *et al.* (2006) constataram que as intensas precipitações estiveram associadas tanto a sistemas de escala sinótica quanto à circulação da brisa marítima e circulação local associada à presença da barreira. No primeiro caso ocorreu a formação de nuvens convectivas em virtude da presença de um cavado e da confluência de ventos em baixos níveis que favoreceram a convecção; no segundo episódio, as chuvas intensas estiveram associadas à passagem de um sistema de vírgula invertida.

2.4.1. Aspectos populacionais e socioeconômicos da Baixada Santista e Litoral Norte

Os fatores conjugados de povoamento antigo, localização estratégica e pólo econômico fizeram da região litorânea paulista, em especial da Baixada Santista, um centro de atração de grande contingente populacional.

Desde o início da colonização a atual Baixada Santista foi mais povoada em relação ao Litoral Norte devido à presença de tribos indígenas hostis na parte norte da região (PETRONE *apud* JAKOB, 2003).

A crescente importância econômica da zona portuária da Baixada Santista e sua ligação com a capital paulista promoveram o incremento populacional de Santos, sendo que na segunda metade do século XIX esse município já apresentava relativa densidade populacional, com vocação predominantemente urbana e pouca ocupação na área rural (op. Cit).

Na década de 1960, Santos experimentou um processo de saturação urbana, decorrente em parte, do crescimento da atividade turística na região, que segundo Jakob (2003), foi impulsionado pela popularização dos automóveis, e conseqüentemente, dos meios de transporte coletivos, que possibilitou tanto às classes mais abastadas, quanto às mais populares, acesso mais rápido e frequente ao litoral. Dados recentes mostram a manutenção da tendência de concentração populacional nos municípios da parte central da RMBS (Figura 2.3), podendo-se observar claramente que as cidades da parte central da Baixada Santista, Santos, São Vicente, Guarujá concentram maior parte da população, que chega a mais de 400.000 habitantes em Santos, mostrando que, embora Santos já esteja consolidado em termos de urbanização, a população é ainda expressiva. Os municípios do Litoral Norte: Caraguatatuba, Ubatuba, São Sebastião e Ilhabela, apresentam um baixo contingente populacional, mantendo a tendência de pouca ocupação que vem da época colonial, mas atualmente o principal fator condicionante seja ditado pelo relevo acidentado. O sul da RMBS, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe também abriga menor número de habitantes.

No entanto, é a partir das informações sobre a densidade demográfica que se pode ter um panorama sobre a aglomeração populacional. A região central da RMBS continua como a mais densamente povoada (Figura 2.4), embora São Vicente desponte com maior densidade populacional, superior a Santos, que vem em logo a seguir. Os menos densamente povoados são Bertioxa e Ilhabela.

A saturação urbana em Santos nos anos 1960 levou à constituição de 3 vetores de urbanização identificado por Negreiros (*apud* JAKOB, 2003) partindo de Santos em direção à: (i) São Vicente e Cubatão; (ii) Praia Grande e Mongaguá e (iii) Bertioga e Guarujá.

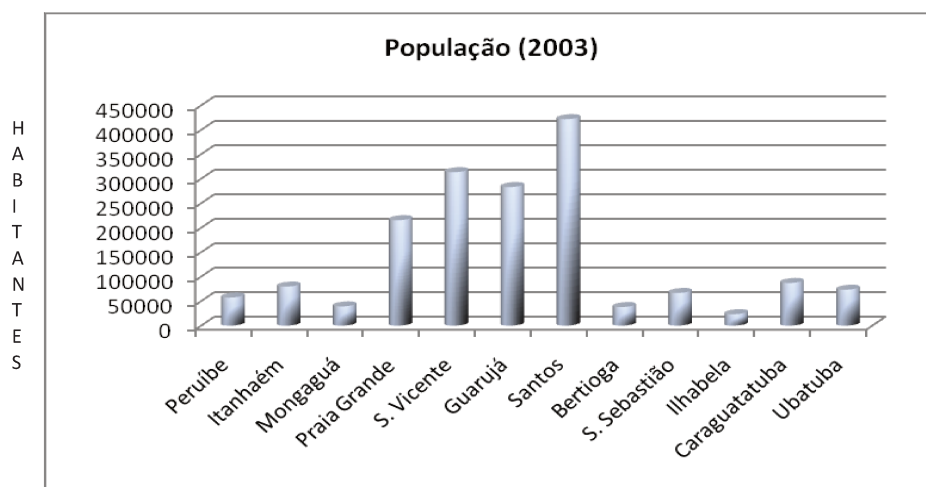


Figura 2.3 População da Baixada Santista e Litoral Norte

Fonte: SEADE

Elaborado pela autora

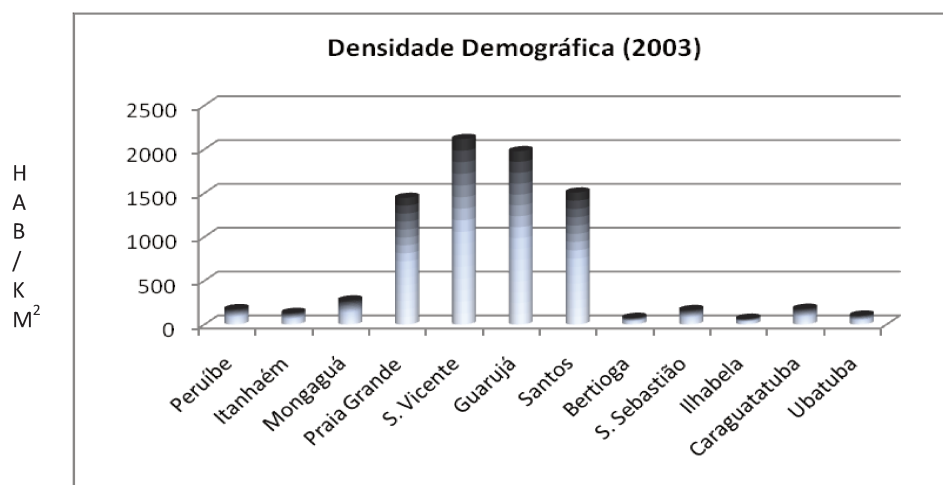


Figura 2.4 Densidade demográfica populacional da Baixada Santista e Litoral Norte.

Fonte: SEADE

Elaborado pela autora

Em 1980, 99,5% da região metropolitana da Baixada Santista (RMBS) já era urbanizada, com inexpressiva população rural. Em 2003 (Figura 2.5) a taxa de urbanização (conceituada como o percentual de população que habita a zona urbana) chega a quase 100% em Praia Grande, São Vicente e Guarujá, indicando grande pressão sobre o solo urbano.

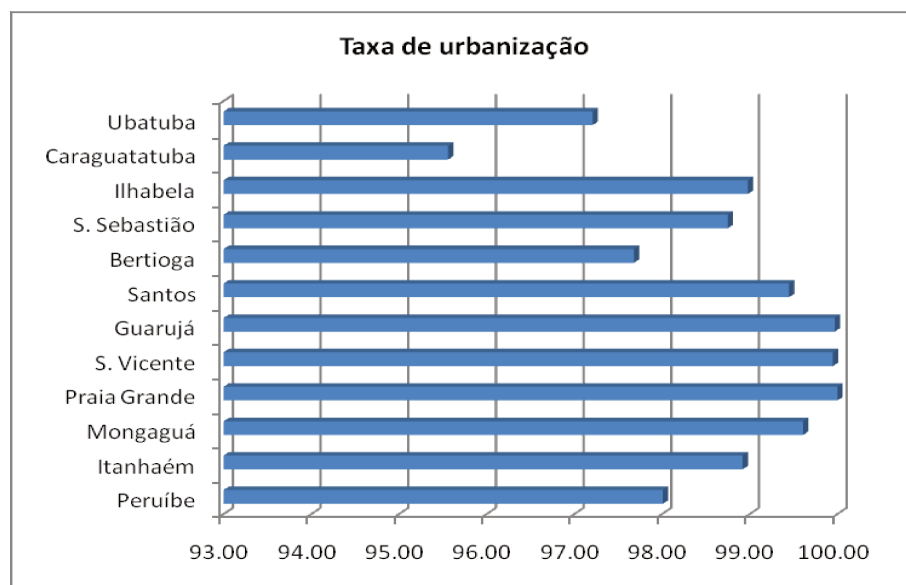


Figura 2.5 Taxa de urbanização nos municípios da Baixada Santista e Litoral Norte

Fonte: SEADE

Elaborado pela autora

Santos e Mongaguá também apresentam taxas elevadas, acima de 99%. Caraguatatuba possui a menor taxa entre todos os municípios, cerca de 96%, ressaltando mais uma vez a grande concentração na área.

Apesar de ser um pólo econômico importante, a RMBS passou por grave estagnação na década de 1980, que levou à desestruturação econômica de parte da população (JAKOB, 2003), agravando a desigualdade social. Na Figura 2.6 estão representados o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), indicador que considera a dimensão econômica, de educação e expectativa de vida para determinar qualidade de vida em uma região, juntamente com o índice de Gini, que mede a concentração de renda, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a concentração de renda.

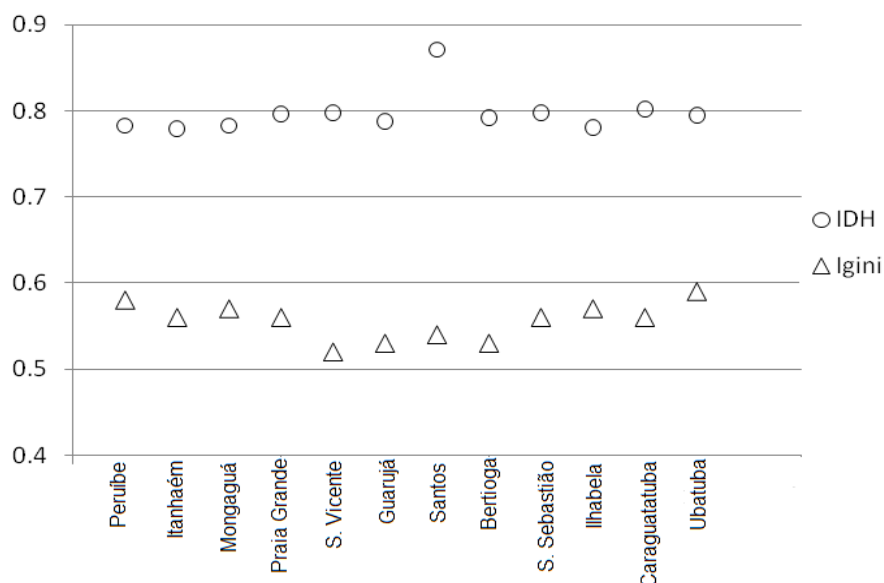


Figura 2.6 Índice de desenvolvimento humano e Índice de Gini nos municípios da RMBS e do Litoral Norte

Elaborado pela autora

O IDH nos em Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá, Guarujá, Bertioga e Ilhabela mostram padrões de médio desenvolvimento humano, que se mantinha na mesma classe do índice estadual na época. Já Praia Grande, São Vicente, Caraguatatuba, São Sebastião e Ubatuba apresentaram valores altos de IDH. Destaca-se Santos, sede da metrópole da RMBS, com o maior IDH, significando que mesmo sendo uma cidade com grande contingente populacional, a qualidade de vida se reflete em outros setores.

Os valores de concentração de renda são relativamente elevados na região, oscilando entre 50% e 60%, em consonância com a taxa nacional de 57%, que colocava o Brasil como oitavo país de renda mais concentrada em 2004. A maior concentração foi registrada em Ubatuba, chegando próximo aos 60%, indicando vulnerabilidade da população mais pobre. Já São Vicente apresentou a mais baixa concentração.

A intensa urbanização gerou um processo de ocupação desordenada e caótica, a exemplo da maioria das cidades. A crise da década de 1980 teve reflexos ainda no agravamento da ocupação de áreas escarpadas da Serra do Mar, em especial de morros em Santos e no Guarujá, pois se por um lado a industrialização da área e o turismo acarretaram melhores condições de vida para parte da população, as classes menos favorecidas foram sendo “empurradas” para áreas

mais insalubres enquanto as classes mais abastadas se assentaram principalmente na orla litorânea (YOUNG e FUSCO, 2006).

A Figura 2.7 apresenta as áreas de risco com moradias nos municípios da Baixada Santista e Litoral Norte em 2003 (SEADE, 2009).

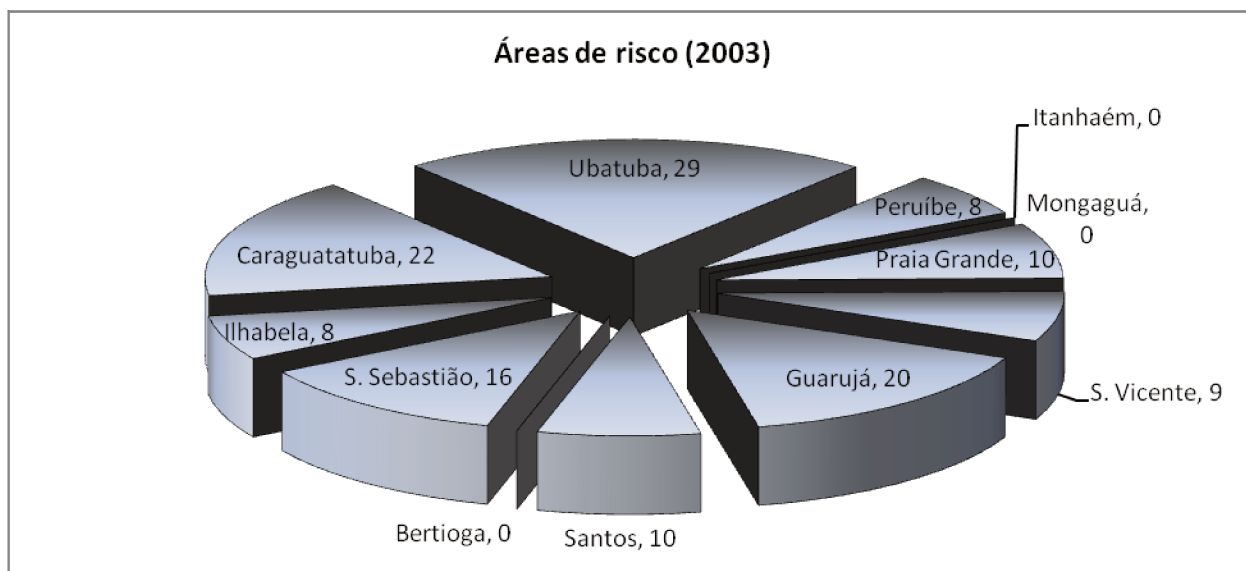


Figura 2.7 Áreas de risco com moradias na Baixada Santista e Litoral Norte
Elaborado pela autora

Este é um dos principais indicadores do nível de risco, pois associa área de comprovada suscetibilidade e população. Constata-se que, em termos relativos, as áreas mais povoadas da faixa central da RBMS apresentaram menor número de áreas de risco ocupadas por moradias que o Litoral Norte. Ubatuba possui maior número de locais de risco ocupados, seguida por Caraguatatuba, ambas localizadas no Litoral Norte. Esta característica pode estar associada às características do relevo acidentado da região.

Guarujá apresenta grande quantidade na RMBS. Este fato se encontra relacionado com o processo de ocupação do município, que no período anterior ao do *boom* imobiliário decorrente do turismo, tinha a maior parte da população no extrato de baixa renda. Posteriormente, tornou-se local de segunda moradia da classe média paulistana, e nesse processo a população original foi sendo excluída das áreas mais valorizadas, ocupando morros (JAKOB, 2003).

Estes fatores socioeconômicos, associados às características climáticas de altos montantes pluviais e geomorfológicas, de um relevo em processo de estabilização e movimentado, caracterizam a região como de significativo risco impactos deflagrados por episódios pluviais.

Capítulo 3

Hipótese e Objetivos

3.1 HIPÓTESE

A hipótese desta pesquisa é que a integração de diferentes variáveis correlacionadas à precipitação na modelagem espacial reduziria a inerente incerteza quanto à distribuição da pluviosidade que causa impactos nos setores Litoral Norte e Baixada Santista, que advém das complexas relações geológicas da área e sua esparsa cobertura de dados.

3.2 OBJETIVO GERAL

Partindo da premissa que a incerteza é inerente ao funcionamento do sistema e deve ser considerada em políticas públicas voltadas para a prevenção e minimização dos impactos ocasionados por chuvas intensas, este trabalho teve como objetivo principal investigar a distribuição espacial e temporal dos eventos extremos de precipitação que causam impactos significativos nos setores Norte e Baixada Santista da Serra do Mar Paulista, produzindo informações que possam contribuir para a redução da incerteza associada ao fenômeno. Com base nessas informações, buscou-se propor metodologias que incorporem incertezas e auxiliem no planejamento de ações voltadas para minimização e prevenção de impactos.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar os padrões temporais de precipitação para os setores Norte e Baixada Santista da Serra do Mar paulista, por meio da análise de séries históricas dos dados pluviométricos da área, nas escalas de análise anual e diária;
- levantar e analisar ocorrências de impactos deflagrados por chuvas intensas;

- investigar os limiares de eventos extremos de precipitação que deflagram impactos significativos, mediante a co-relação com os registros desses eventos e com análises estatísticas e estudos prévios da área;
- simular cenários da distribuição espacial dos eventos extremos de precipitação, relacionando-os com atributos geoecológicos altamente correlacionados (altimetria, declividade e exposição de vertentes), buscando investigar as incertezas existentes, com intuito de apontar áreas com maior/menor probabilidade de ocorrências de eventos acima do limiar estabelecido e apresentar mapas que permitam a visualização da variabilidade;
- propor modelos de predição a impactos para a área, considerando suas características próprias de suscetibilidade e vulnerabilidade.

Capítulo 4

Procedimentos Metodológicos

O fluxograma abaixo apresenta o resumo dos procedimentos metodológicos que foram utilizados no trabalho:

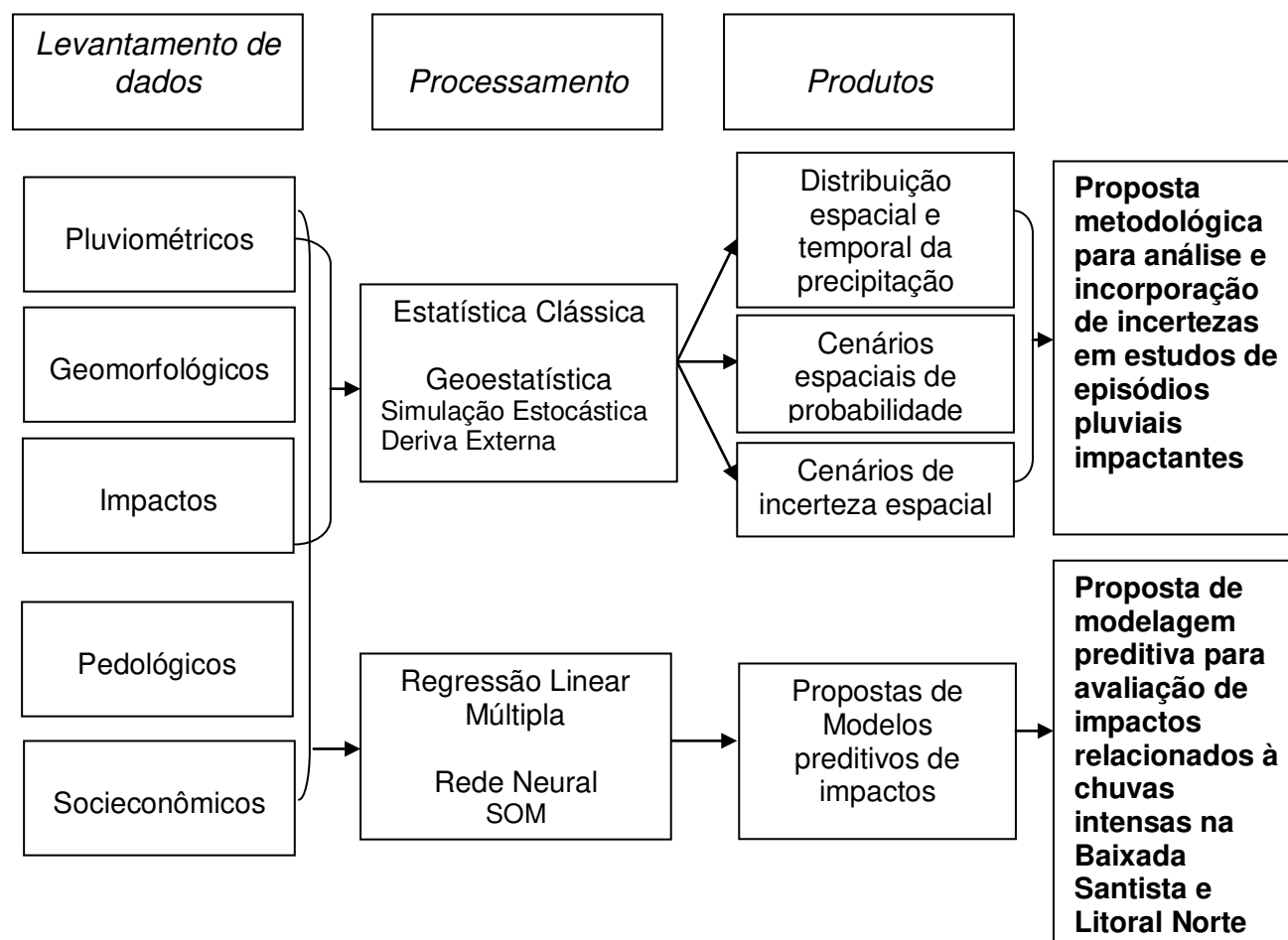


Figura 4.1 Fluxograma das etapas do trabalho
Elaborado pela autora.

Inicialmente foi realizado o levantamento dos dados das variáveis físicas e socioeconômicas. Houve um criterioso procedimento na escolha das fontes para diminuir a possibilidade de propagação do erro relativo à coleta de informações. Os dados foram pré-processados para a correção de eventuais falhas e remoção de valores aberrantes, aferidos quanto à compatibilidade com o escopo da pesquisa e realizada a adequação de bases e escalas.

Após essa etapa, o processamento dos dados foi realizado com a aplicação de técnicas estatísticas exploratórias para traçar um panorama inicial do comportamento dos dados. Em seguida foram iniciados os testes para a integração de dados com técnicas geoestatísticas já consagradas e testes para estabelecer os parâmetros para o modelo. A simulação estocástica foi a primeira técnica utilizada, que teve como objetivo gerar diferentes cenários de probabilidade e de incerteza. Em virtude da coleta de dados de precipitação ter baixa cobertura espacial, foram incorporadas variáveis mais amostradas que possuem relação física com a chuva, utilizando-se a técnica de deriva externa. Desta forma, foram obtidos diferentes cenários espaciais com a probabilidade de ocorrência para a precipitação, mapas com locais de maior/menor probabilidade de serem atingidos por chuvas acima de limiares determinados em episódios de chuvas intensas e mapas de incerteza espacial da precipitação.

Buscando incorporar diferentes fatores físicos e humanos envolvidos na ocorrência de impactos deflagrados por precipitações, foram propostos modelos prognósticos para a possibilidade ou não de problemas associados às chuvas na Baixada Santista e Litoral Norte, a partir do uso das técnicas de Mapa Auto-Organizáveis (SOM) e da Regressão Linear Múltipla.

Os procedimentos metodológicos são detalhados nos próximos itens, sendo que cada item traz os procedimentos adotados por capítulo.

4.1. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 5

No Capítulo 5 foi realizada a análise dos padrões da precipitação anual e diária nos 10 anos de estudo. Na Figura 4.2 é possível observar um sumário explicativo.

Foram empregadas técnicas estatísticas clássicas: a tendência central da pluviosidade no período analisado foi investigada a partir da média, mediana e moda e a variabilidade intraanual foi avaliada por meio do desvio padrão e dos quartis. Os anos anômalos foram averiguados a partir do emprego da técnica de padronização.

Procedimentos realizados no capítulo 5				
	Materiais	Fontes	Técnicas	Produtos/ objetivos
ANÁLISE ANUAL	Dados de precipitação anual 1994/95 a 2003/04	DAEE Consistidos pelo CEPAGRI	1. média 2. moda 3. mediana 4. desvio padrão 5. quartis 6. padronização	Gráficos e tabelas com padrões anuais da precipitação
	Informações sobre ENOS, ZCAS e sistemas frontais de 1994 a 2004	1. Boletim Climanálise ² CPTEC/INPE 2. CPTEC/INPE ³ 3. Cartas sinóticas da Marinha do Brasil ⁴	1. levantamento	Tabelas de frequência de atuação dos sistemas climáticos.
	Dados de precipitação anual para o período de 1994/95 a 2003/04	DAEE Consistidos pelo CEPAGRI	1. krigagem	1. mapas de distribuição anual da chuva 2. mapas de desvio padrão
DIÁRIA	Dados de precipitação em 24h 1994/95 a 2003/04	DAEE Consistidos pelo CEPAGRI	1. tabela de frequências 2. desvio quartílico	1. Gráficos e tabelas 2. Gráficos com a variabilidade

Figura 4.2 Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 5
Elaborado pela autora.

Com intuito de observar possíveis padrões de influência dos sistemas atmosféricos que contribuem na gênese da precipitação, foram levantadas as ocorrências de ENOS, ZCAS e avanço de sistemas frontais no Boletim de monitoramento e análise climática Climanálise, no sítio do CPTEC/INPE e por meio das cartas sinóticas da Marinha do Brasil. O periódico mensal Climanálise também permitiu resgatar as condições dos parâmetros climáticos ocorridos no período de estudo. A partir das informações coletadas no Climanálise foram elaboradas tabelas de frequência da atuação dos sistemas atmosféricos em cada ano.

² <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>

³ <http://enos.cptec.inpe.br/>

⁴ <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

A distribuição espacial dos montantes anuais e o desvio padrão espacial para avaliação de incertezas foram observados por meio de mapas elaborados utilizando como método de interpolação a krigagem.

A seguir, será detalhado o levantamento e o pré-processamento do material utilizado.

Dados Pluviométricos da Serra do Mar

A baixa cobertura espacial de pontos de coleta de dados de precipitação é um dos principais obstáculos encontrados na investigação deste fenômeno. Em termos de Brasil, o estado de São Paulo possui uma das redes pluviométricas mais densas do país, contando com pluviômetros do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), da Agência Nacional das Águas (ANA) e da Companhia Eletricidade de São Paulo S/A (ELETROPAULO).

Embora a quantidade inicial de postos com registros na área tenha sido razoável, muitos postos apresentaram séries interrompidas, falhas significativas ou estavam desativados, mas podem ser utilizados em abordagens temporais mais curtas como, por exemplo, estudos de caso diários. Em virtude deste panorama, realizou-se cuidadosa inspeção nas séries históricas obtidas, com intuito de selecionar as séries mais robustas e compatíveis com a proposta do estudo.

Foram escolhidos postos que atendessem os objetivos do trabalho, com base nos seguintes critérios:

- a) abarcar os anos mais recentes para o estudo das condições atuais da dinâmica da precipitação na área e que fossem compatíveis as ocorrências de impactos catalogadas, sendo que as informações disponíveis estão mais bem representadas e estruturadas para anos mais recentes;
- b) obter séries históricas de boa qualidade, que possibilitem a compreensão do comportamento temporal das chuvas;

Após a inspeção do conjunto de séries temporais disponíveis, foram selecionados 14 postos pluviométricos instalados em 12 municípios do litoral. Todos os postos são mantidos pelo DAEE. Os dados foram disponibilizados pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), órgão que faz a consistência dos dados para o DAEE, buscando garantir a máxima confiabilidade possível, minimizando incertezas relativas a erros de falta de consistência.

O recorte temporal, de 1994 a 2004, foi definido de acordo com a disponibilidade das séries de precipitação fornecidas pelo DAEE, buscando um balanço entre as coberturas temporais e espaciais.

A Figura 4.3 traz informações detalhadas sobre os postos selecionados.

Município	Posto	Altitude (m)	Lat.	Long.	UTMx	UTMy
Peruíbe	Peruíbe (PB)	3	24°19'	47°00'	297050.55	7309245.06
Itanhaém	Itanhaém (IT)	3	24°11'	46°48'	317199.76	7324343.38
Mongaguá	Mongaguá (MG)	20	24°05'	46°37'	335698.03	7335645.49
Praia Grande	Melvi (MV)	10	24°02'	46°33'	342374.96	7341205.34
São Vicente	Humaitá (HM)	10	23°57'	46°27'	352450.00	7350542.00
Santos	Caete (CT)	200	23°53'	46°13'	376173.46	7358201.99
Guarujá	Perequê (PQ)	3	23°57'	46°11'	379629.20	7350848.86
Guarujá	Ponta da Praia (PT)	3	24°00'	46°17'	464355.65	7369715.78
Bertioga	Usina Itatinga (UI)	10	23°46'	46°07'	386217.23	7371150.34
Bertioga	Represa Itatinga (RI)	720	23°45'	46°08'	384540.28	7373035.91
S. Sebastião	S. Francisco (SF)	20	23°46'	45°25'	457548.16	7371535.03
Ilhabela	Ilhabela (IB)	10	23°47'	45°21'	462696.04	7349406.28
Caraguatatuba	Caraguatatuba (CR)	20	23°38'	45°26'	455840.51	7386345.12
Ubatuba	Mato Dentro (MD)	220	23°23'	45°07'	488117.42	7414084.03

Figura 4.3 Informações sobre os postos selecionados para a pesquisa.

Elaborado pela autora.

Nas Figuras 4.3 e 4.4. é possível observar informações sobre os postos, que foram plotados sobre o mapa de relevo (Figura 4.4), com vistas a observar a distribuição espacial e a disposição em relação ao terreno. Nota-se a baixa cobertura espacial de pontos de coleta, a análise espacial de precipitação na área, tornando necessária a busca de metodologias alternativas que possibilitem aumentar os níveis de acurácia e precisão na interpolação dos dados de precipitação. Outro aspecto que chama a atenção é que a 80% dos postos situam-se em planície, sendo as áreas de altitudes mais elevadas pouco representadas, fato similar ao já observado em outras regiões de relevo acidentado. Apenas três postos representam os terrenos mais elevados.

A determinação do período anual para a análise da precipitação depende do ritmo pluvial da região a ser estudada. São utilizadas principalmente duas abordagens (REISER e KUTIEL, 2007): o ano meteorológico, que segue o calendário oficial (1º de janeiro a 31 de dezembro) e é mais usado para ritmos pluviais homogêneos e o ano hidrológico, usualmente

adotado em regiões com períodos secos e chuvosos bem definidos. O ano é iniciado na estação seca, com o objetivo de evitar a divisão do período chuvoso em dois segmentos diferentes.

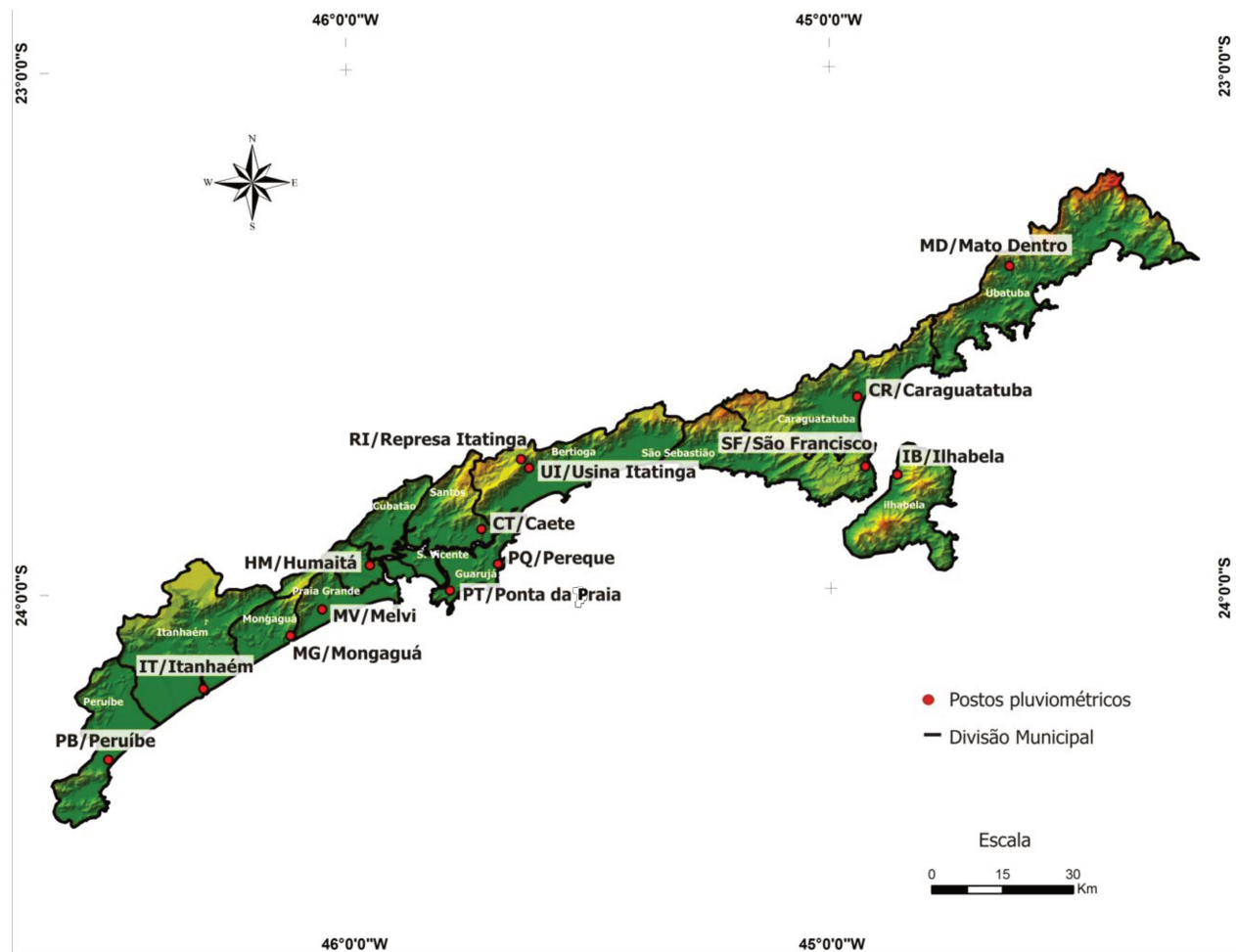


Figura 4.4. Localização dos pluviômetros com séries históricas de 10 anos (DAEE) consistidas pelo CEPAGRI

Elaborado por: Andrea Koga-Vicente/ Luiz Eduardo Vicente

Embora não se possa afirmar que no litoral paulista ocorra uma estação seca, visto não ocorrer deficiência hídrica sazonal, ainda assim, as precipitações se concentram nos meses de verão (40%, de acordo com Nunes, 1997), o que justifica, portanto, a adoção do ano hidrológico neste trabalho. Desta forma, a escala anual utilizada se iniciará em 1º de outubro e terminará em 30 de setembro.

Como já discutido no capítulo 4, a escolha do recorte espacial dos setores Baixada Santista e Litoral Norte deu-se tendo em vista serem os apresentam maior número de episódios catastróficos no litoral paulista.

Dados dos sistemas climáticos

Com objetivo de analisar a precipitação em relação aos sistemas que atuaram na região durante o período estudado, foram levantadas informações sobre as condições de ENOS, ZCAS e sistemas frontais.

Os anos de atuação dos fenômenos El Niño e La Niña e as respectivas intensidades foram levantados no sítio do CPTEC/INPE⁵, na escala anual. Foi também elaborada uma tabela com o desdobramento mensal dos fenômenos, com base nas análises trazidas no Boletim Climanálise. Como as edições eletrônicas do Climanálise se iniciam em novembro de 1996, foram utilizadas as cartas sinóticas da Marinha do Brasil para o levantamento do avanço de sistemas frontais no período anterior.

4.2 Procedimentos metodológicos realizados na Capítulo 6

No capítulo 6, para a análise dos impactos associados a eventos pluviais foram adotadas os procedimentos expostos na Figura 4.5.

O primeiro passo nesta etapa foi a elaboração do banco de dados de desastres para o período de 1994/95 a 2003/04 e, com esse objetivo, as ocorrências de impactos deflagrados pelos eventos extremos de precipitação foram pesquisadas a partir de diferentes fontes, visando reunir informações de forma mais robusta possível. A Figura 4.6 mostra a tabela com as características das fontes utilizadas.

A Defesa Civil foi considerada a fonte oficial e serviu como parâmetro principal para a validação das informações; no entanto, ela iniciou registros sistemáticos apenas no ano de 2000, fato que se constituiu como sua principal característica limitadora no contexto deste estudo.

A imprensa foi importante fonte para o período anterior (1994-2000), apresentando como vantagem adicional caracterizar de forma qualitativa os desastres ocorridos, por meio da descrição do evento. Contudo, deve-se atentar para possíveis inconsistências advindas do fato de que o foco principal é chamar a atenção para a notícia, o que muitas vezes pode comprometer os

⁵ <http://www.cptec.inpe.br/>

dados informados. Para validar essas inconsistências foram utilizados os dados oficiais como balizadores.

Procedimentos realizados no capítulo 6				
	Materiais	Fontes	Técnicas	Produtos/ objetivos
D A D O S D E I M P A C T O S	Informações sobre impactos deflagrados por eventos pluviais entre 1994/95 e 2003/04	1. Defesa Civil do Estado de São Paulo 2. IPT 3. LECLIG 4. IPMet	Levantamento	Banco de dados com ocorrências de impactos relacionados à eventos pluviais
	Dados de precipitação em 24h de 1994/95 a 2003/04 associados à ocorrência de impactos	DAEE Consistidos pelo CEPAGRI	Levantamento	Dados para composição do Banco de Dados de impactos
	Informações sobre sistemas atmosféricos atuantes na data do impacto	1. Boletim Climanálise ⁶ CPTEC/INPE 2. CPTEC/INPE ⁷ 3. Cartas sinóticas da Marinha do Brasil ⁸	Levantamento	Composição do Banco de Dados de impactos
B A N C O D E D A D O S	Banco de dados de impactos organizado para o estudo	Obtidos a partir do levantamento de dados acima descrito	1. Frequências	Gráficos e tabelas com a distribuição de frequências dos impactos por ano, mês e município
			2. Quartis	Gráficos e tabelas
			3. Índice de correlação	
	Banco de dados da precipitação em 24h nos dias relacionados à deflagração do impacto	Obtidos a partir do levantamento de dados acima descrito	1. Frequência	Gráficos e tabelas com a distribuição de frequências
			2. Quartis	Gráficos e tabelas

Figura 4.5 Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 6
Elaborado pela autora.

⁶ <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>

⁷ <http://enos.cptec.inpe.br/>

⁸ <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>

Origem	Fontes	Informações Componentes	Período utilizado/ pesquisado	Observações
Defesa Civil do Estado de São Paulo	Banco de atendimentos realizados pela Defesa Civil	- Data; - Bairros/locais; - Natureza da ocorrência: inundação, desabamento, etc.; - Número de vítimas; - Número de impactos por tipo.	Janeiro de 2000 a setembro de 2004.	
IPT	Banco de atendimentos realizados pelo IPT	- Data; - Local; - Montante de chuva acumulada em 3 dias.	Outubro de 1994 a setembro de 2004.	Dados disponibilizados no âmbito do projeto “Estudos da previsibilidade de eventos meteorológicos extremos na Serra do Mar” (FAPESP 2004/09649-0).
Banco de dados do LECLIG	1. Banco de atendimentos do IPT 2. Defesa Civil 3. Imprensa	- Data, hora e local da ocorrência; - Característica do fenômeno físico: se frente fria, chuva fraca, intensa contínua, etc.; - Impactos: natureza do impacto, local e vítimas;	Outubro de 1994 a setembro de 2004.	Elaborado em atendimento ao projeto “Estudos da previsibilidade de eventos meteorológicos extremos na Serra do Mar” (FAPESP 2004/09649-0).
Banco de dados do IPMet	1. Defesa Civil 2. Imprensa	- Fenômeno: chuva intensa, chuva contínua, temporal, etc. - Danos resultantes: desabrigados, desalojados, vítimas, impactos ocorridos	Janeiro de 2000 a setembro de 2004.	
Imprensa (jornais impressos e digitais)	- Folha de São Paulo - Estado de São Paulo - A Tribuna - Jornal da Baixada Santista - Jornal da Baixada - Diário do Litoral - Jornal de Peruíbe - Correio do Litoral	Informações diversas.	Outubro de 1994 a setembro de 2004.	

Figura 4.6 Características das fontes de informação para a elaboração do Banco de Dados de Impactos na área de estudo
Elaborado pela autora.

Os bancos de dados do LECLIG e do IPMet foram considerados confiáveis por terem passado pelo crivo dos pesquisadores elaboradores. Essas compilações tiveram por origem diferentes fontes, como imprensa local e defesas civis municipais, além de informações de alguns centros de pesquisa, como IPT e Instituto Geológico-SMA (IG).

A reunião das informações dessas fontes permitiu a obtenção de informações robustas para composição do banco de dados. Convém salientar que não obstante todos os esforços para uma constituição abrangente, possivelmente há ocorrências que não foram registradas.

Após a obtenção das informações, foi levantado o montante de precipitação que ocasionou os impactos. Esse cálculo foi computado considerando os dias anteriores com chuva ininterrupta até a data do impacto; por exemplo, se a chuva se iniciou no dia 16 e continuou nos dias 17 e 18, com impactos registrados dia 18, o montante pluvial corresponderá à soma dos 3 dias com chuva. Devido a essa característica, foram agregadas também as informações sobre (i) a duração que foi determinada considerando os dias anteriores com precipitação ininterrupta até a data de registro do impacto e (ii) o pico considerado como o máximo valor da precipitação em 24h nos dias que compuseram o evento.

Outro item agregado foi a informação sobre as condições de ENOS (El Niño, La Niña ou neutralidade), atuação de ZCAS e avanço de sistemas frontais.

Inicialmente, o banco de dados havia sido idealizado de modo a abarcar aspectos quantitativos e qualitativos, tais como o número de vítimas por tipologia (mortos, feridos, desabrigados, desalojados), e a natureza do impacto deflagrado (inundação, enchente, rolamento de bloco, deslizamento de encostas, etc.) o que não foi possível, pois algumas fontes não traziam essas informações, ou em alguns casos, não estavam registradas para alguns eventos. Buscou-se também situar os desastres em suas coordenadas de ocorrência, mesmo que aproximadas, o que também não ocorreu pelo mesmo motivo anterior e porque alguns dos registros trazem os nomes locais (não-oficiais) para a área, o que dificulta a tentativa de localização.

Desta forma, o banco de dados com impactos para a Baixada Santista e Litoral Norte foi elaborado com as seguintes características:

- **evento:** cada registro refere-se a um evento de precipitação. Por evento entende-se a duração do fenômeno pluvial que provocou o(s) impacto(s), podendo variar de dia(s) a semanas;

- **escala espacial:** os registros foram agrupados por município, sendo esta, a unidade espacial para a análise dos desastres;
- **escala temporal:** o período abarcado é concernente com os dados pluviométricos disponíveis, que vai de outubro de 1994 a setembro de 2004;
- **impactos:** foram selecionados aqueles de natureza hidrometeorológica (inundações, enchentes e alagamentos) e hidrometeorológicos/geológicos (deslizamentos de encostas, queda de barreiras e rolamento de blocos). Portanto, foram eventos impactantes aqueles que provocaram esses tipos de ocorrências;
- **vítimas:** número de afetados, sendo que essa categoria se encontra limitada em virtude da falta de dados para todos os eventos.

Desta forma, o banco de dados elaborado permitiu o levantamento da frequência de eventos pluviais que culminaram em impactos, que serão denominados **episódios pluviais impactantes**, não sendo, porém, possível ter parâmetros sobre a magnitude desses episódios.

O exemplo da organização do Banco de dados pode ser observado na Figura 4.7.

Município	Data	Total de Vítimas	Total da Precipitação (mm/episódio)	Duração (dias)	Pico (mm/24h)	ZCAS (sim/não)	Frente Fria (sim/não)	El Niño (sim/não)	La Niña (sim/não)
-----------	------	------------------	-------------------------------------	----------------	---------------	----------------	-----------------------	-------------------	-------------------

Figura 4.7 Exemplo do cabeçalho do banco de dados de impactos. (Elaborado pela autora.)

Além do Banco de dados de impactos, nesta fase também foi utilizado o banco de dados da precipitação em 24h dos dias que compuseram o episódio pluvial impactante (exemplo na Figura 4.8).

Município	Data	Precipitação (mm/24h)	Duração (dias)	Pico (mm/24h)	ZCAS (sim/não)	Frente Fria (sim/não)	El Niño (sim/não)	La Niña (sim/não)
-----------	------	-----------------------	----------------	---------------	----------------	-----------------------	-------------------	-------------------

Figura 4.8 Exemplo do cabeçalho do banco de dados da precipitação nos episódios pluviais impactantes. (Elaborado pela autora.)

A partir dos bancos de dados obtidos procedeu-se à análise exploratória dos dados por meio de técnicas estatísticas, quando foram observados os padrões de distribuição temporal e espacial dos impactos e da precipitação em 24h associados.

4.3. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 7

No Capítulo 7 foram gerados os mapas dos cenários simulados da precipitação, de probabilidades de ocorrências de chuvas acima do limiar estabelecido e das incertezas espaciais (sumário dos procedimentos na Figura 4.9).

Procedimentos realizados no capítulo 7				
	Materiais	Fontes	Técnicas	Produtos/ objetivos
L E V A N T A M E N T O	Modelos Digitais de Elevação (MDE) do <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i> (SRTM)	Serviço Geológico Americano (USGS) ⁹	1.remoção de picos e vórtices pelo ajuste do histograma	Dados altimétricos
	Modelos Digital de Elevação <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i> (ASTER)	Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) ¹⁰	1.Detecção de anomalias 2. Substituição dos dados anômalos por interpolação	1.Dados altimétricos 2. Dados de declividade 3. Dados de exposição de vertentes
P R O C E S S A M E N T O	1.Banco de dados da precipitação em 24h nos dias relacionados à deflagração do impacto 2. Dados Altimétricos	Gerado neste estudo a partir de dados do DAE	<u>Estatísticas</u> 1.moda, média, mediana 2. desvio padrão 3. desvio quartílico	Análise exploratória dos dados
	3. Dados de Declividade 4. Dados de exposição de vertentes		<u>Geoestatísticas</u> 1.Simulação estocástica 2. Simulação estocástica com deriva externa	1. Mapas de probabilidade 2. Mapas de incertezas

Figura 4.9 Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 7
Elaborado pela autora.

⁹ <http://edu.usgs.gov/srtm/data/interferometry>; <http://seamless.usgs.gov/> - Data Distribution System

¹⁰ <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

A primeira medida foi o levantamento dos dados a serem analisados. Os valores de precipitação foram oriundos do banco de dados da precipitação em 24h nos dias relacionados à deflagração do impacto, organizado na etapa anterior.

Os dados geomorfológicos integrados à precipitação foram elaborados a partir dos modelos digitais de elevação (MDE) do SRTM e do ASTER, sendo que os procedimentos de obtenção e pré-processamento serão detalhados no item posterior. Por meio dos dados dos modelos digitais obtiveram-se os mapas de altimetria, declividade e exposição de vertentes. A validação foi realizada por comparação com o mapa altimétrico.

A técnica de simulação foi empregada com o objetivo de avaliar as incertezas envolvidas na espacialização da precipitação (detalhes sobre a técnica são fornecidos no item “técnicas geoestatísticas”), pois permitiu a elaboração de mapas de probabilidade de uma determinada área ser atingida por montantes acima de um valor limiar e mapas com as áreas com maior e menor incerteza para interpretação dos resultados.

A simulação produz um número de cenários equiprováveis¹¹ da variável que é determinado pelo pesquisador, ou seja: diferente de outros métodos de espacialização, fornece diversos cenários para a distribuição do fenômeno, todos eles fiéis aos pontos amostrados, com a mesma probabilidade de ocorrência, mas que trazem as variações que podem existir nos pontos não amostrados, expressando as incertezas para interpretação dos resultados. No caso deste estudo foi determinada a elaboração de 100 cenários.

Os cenários simulados, por si só, não possibilitam a interpretação, que se torna possível a partir do pós-processamento das imagens. Para este estudo foram aplicados os critérios para elaboração de mapas de probabilidade de ocorrências de chuvas acima de 80mm/24 e de desvio padrão, que contêm as incertezas entre os nós simulados, indicando a variabilidade.

A simulação permite ainda incorporar outras variáveis que possuam relação com o fenômeno em estudo através da técnica de deriva externa. No caso da precipitação na região da Serra do Mar, o relevo atua como um dos principais modeladores da chuva, e desta forma, foram elencadas as variáveis geomorfológicas altimetria, declividade e exposição de vertentes, elementos que mantêm forte correlação física com a precipitação.

Como resultante da simulação foram gerados os seguintes mapas tendo como variável os dias com chuva componentes dos episódios pluviais impactantes, que totalizaram 321 dias:

¹¹ Cenários equiprováveis: cenários que possuem a mesma probabilidade de ocorrência.

1. 100 cenários dos 321 dias da precipitação diária;
2. 100 cenários dos 321 dias da precipitação diária com deriva externa da altimetria,
3. 100 cenários dos 321 dias da precipitação diária com deriva externa da declividade,
4. 100 cenários dos 321 dias da precipitação diária com deriva externa exposição de vertente,

E, após o pós-processamento:

5. Um mapa com a probabilidade média de ocorrência de chuvas acima de 80mm/24h em episódios pluviais impactantes;
6. um mapa com o cenário da probabilidade média de ocorrência de chuvas acima de 80mm/24h em episódios pluviais impactantes considerando a precipitação e a altimetria;
7. um mapa com o cenário da probabilidade média de ocorrência de chuvas acima de 80mm/24h em episódios pluviais impactantes considerando a precipitação e a declividade;
8. um mapa com o cenário da probabilidade média de ocorrência de chuvas acima de 80mm/24h em episódios pluviais impactantes considerando a precipitação e a exposição de vertentes;
9. um mapa com o desvio padrão médio dos cenários simulados da precipitação;
10. um mapa com o desvio padrão médio dos cenários simulados da precipitação e altimetria;
11. um mapa com o desvio padrão médio dos cenários simulados da precipitação e declividade;
12. um mapa com o desvio padrão médio dos cenários simulados da precipitação e exposição de vertentes.

A seguir será detalhado o levantamento dos dados geomorfológicos empregados nesta etapa e realizada uma discussão sobre as técnicas geoestatísticas empregadas.

Levantamento dos dados geomorfológicos

Os dados geomorfológicos utilizados para a integração com a pluviometria foram obtidos de duas fontes: *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER).

Considerando a ampla cobertura e adequação cartográfica ao caráter regional de análise deste trabalho, foram utilizadas, inicialmente, informações altimétricas dos modelos digitais de elevação SRTM. Esse tipo de dado foi gerado à partir de interferometria de radar de abertura sintética (InSAR) através das bandas C(5,6 cm) e X (3,1 cm) e possuem resolução de 90m, ou 3 arco segundos ($0,000833^\circ$), com exceção da cobertura sobre o território americano, cuja resolução horizontal é de 30 m, ou 1 arco segundo ($0,000277^\circ$). Optou-se pela utilização da “versão 2” (*finished*) dos dados SRTM, disponibilizados a partir de fevereiro de 2007, na qual foram aplicados procedimentos de pós-processamento voltados para a melhor definição de corpos d’água, bem como normalização de valores extremos, como picos e vórtices, os quais significariam valores espúrios ampliados durante o processo de modelagem. Mesmo nessa versão, foi verificada na área de estudo presença de pixels sem valor altimétrico (*no data*) e valores negativos, sendo que por meio de um ajuste do histograma dos dados foi possível segregá-los espacialmente, corrigindo-os pela atribuição de valores dos pixels vizinhos por uma rotina *Interactive Data Language* (IDL).

Com esses cuidados, a precisão vertical em torno de 16 m absoluta e 11 m relativa, com 90% de certeza, estimada para a versão inicial 1 (*unfinished*) do SRTM (van ZYL, 2001), pode chegar a 7 m de erro vertical (PINHEIRO, 2006; SUN *et al.*, 2003; RAO, 2004), exigindo neste caso pontos de controle de campo. Para um trecho da Serra do Mar o qual faz parte da área de estudo deste trabalho, Barros e Cruz (2007) obtiveram valores em torno de 10 m de erro vertical entre MDE SRTM (versão 2) e MDE de pontos de controle de campo (Referência de Nível da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro). Esses resultados corroboram a utilização dos dados SRTM para geração de produtos cartográficos muito precisos, da ordem de 1 100 000 classe A, segundo parâmetros do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Reitera-se, porém, a necessidade de procedimentos de pós-processamento, mesmo na versão 2, conforme verificado aqui, principalmente em regiões com grande variação altimétrica e declividades acentuadas. Isso se deve a pouca exposição planar da superfície imageada influenciando diretamente o retro-espalhamento captado pelo radar.

Assim, os dados altimétricos gerados a partir do SRTM foram bastante efetivos para a krigagem; todavia, quando foram iniciados os procedimentos de simulação, verificaram-se problemas como, por exemplo, valores negativos de precipitação. Conclui-se que para a simulação, os mínimos erros contidos nos MDE, devido a possíveis setores de grande variação altimétrica, são propagados exponencialmente no modelo.

Optou-se, então, pelo uso do MDE /ASTER visando a possibilidade de melhoria na realização das simulações.

O ASTER opera embarcado no satélite TERRA, lançado em Dezembro de 1999, como parte do programa Earth Observing System (EOS), resultado de uma colaboração conjunta entre a North American Spacial Agency (NASA) dos EUA e o Ministry of Economy and Industry (METI) do Japão. Esse sensor apresenta algumas vantagens sobre o SRTM quanto a sua resolução espacial nativa e métodos de captação/validação, os quais serão explicitados a seguir.

Diferentemente do SRTM, o ASTER constitui-se num sensor ótico orbital multi-funcional com grande capacidade técnica para trabalhos geomorfológicos, geológicos e pedológicos, que incluem o aprimoramento da resolução espectral em diferentes regiões do espectro eletromagnético (EEM) (ABRAMS e HOOK, 2002), além de eficiência no mapeamento remoto em escala de detalhe (VICENTE, 2007), possuindo 14 bandas espectrais imageadas por 3 sensores diferentes: três bandas com resolução de 15m, cobrindo as faixas espectrais do visível (VIS) entre 0.52 e 0.69 μm , e infravermelho próximo (IVP) de 0.78 a 0.86 μm ; seis bandas, com 30m de resolução, posicionadas no infravermelho de ondas curtas (IVOC) de 1.600 a 2.430 μm , e cinco bandas com 90m de resolução, no infravermelho termal (IVT), entre 8.125 e 11.65.

A geração de dados altimétricos pelo ASTER baseia-se na sua capacidade de imageamento em pares estereoscópicos, criado pelo efeito de paralaxe entre as imagens das bandas 3B e 3N, o que possibilita a confecção de MDEs de forma remota no comprimento de onda (STEINMAYER, 2003). O procedimento de extração se baseia em um conceito básico de estereoscopia: o *base-to-height ratio* (B/H), com fundamentos na semelhança de triângulos, onde variáveis conhecidas como a altitude do sensor (~705 km) e a base (distância percorrida entre o imageamento Nadir e a retrovisada - ~ 370 km) fornecem um quociente traduzido em valores Z. Para isso, é fundamental que ambas as imagens sejam corrigidas geometricamente, compartilhando o mesmo referencial cartográfico (Lat, Long - WGS84) e assumindo uma elevação artificial igual a zero. A exatidão desse procedimento garante que todo o deslocamento

entre as duas imagens seja traduzido em valores altimétricos (STEINMAYER, 2003). Os MDEs derivados das bandas 3B-3N apresentam acurácia vertical altimétrica de até 7m (calibrado com pontos de controle no terreno) (HIRANO *et al.*, 2002).

Um problema dos MDE/ASTER era sua cobertura restrita frente a grande abrangência da área de estudo deste trabalho. Esse dilema foi recentemente mitigado pela implantação do projeto *Global Digital Elevation Model* (GDEM) (METI/NASA), o qual disponibilizou MDEs ASTER para quase a totalidade da superfície terrestre (áreas entre 83°N e 83°S) (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>). Os MDEs do projeto GDEM possuem resolução espacial de 30m (1 arco segundo) e são fornecidos no formato geotiff (.tiff), os quais são associados a um importante conjunto de metadados para o controle de anomalias (*bad values*) ou aos procedimentos de estereoscopia utilizados por meio do arquivo “QA” (ASTER GDEM – readme file, version 1). A escolha dos MDEs dá-se por trechos de 1°- por -1° (Tiles), sendo que neste trabalho foram utilizados 12 tiles num mosaico de cobertura da área de estudo.

As principais anomalias verificadas nesta versão 1 estão associadas a presença de nuvens ou a inconstância de valores associados a grandes corpos d’água continentais, bem como de valores altimétricos irreais resultantes do efeito de borda (linear e curva) entre as junções das diferentes cenas utilizadas para a geração do MDE (procedimento estereoscópico) resultando em diversas formas/artefatos, tais como: *pits*, *mole runs*, *bumps*. Procedimentos para mitigação desses problemas foram implementados e podem ser monitorados pelos já citados arquivos QA (ASTER GDEM – readme file, version 1). Baseados em testes preliminares (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/media/files/ASTER_GDEM_ValidationSummary_Report) espera-se uma acurácia vertical nativa (sem o auxílio de pontos de controle de campo) em torno de 20m, com um nível de confiança de 95%, sendo que esses valores são idealmente equiparáveis as demais resoluções utilizadas neste trabalho. Outra vantagem é a mudança de método de aquisição o qual, contribui para a redução da depreciação dos dados devido as grandes variações na declividade, típicas da área de estudo e que foram verificadas no SRTM.

A partir das imagens ASTER foram extraídos os dados de altimetria, declividade e exposição de vertentes.

Técnicas geoestatísticas

A Primeira Lei da Geografia de Tobler enuncia que “tudo está relacionado com tudo, mas coisas próximas são mais relacionadas que coisas distantes” (TOBLER, 1979) é o principal pilar da Geoestatística e dos métodos de interpolação em geral (BABISH, 2006).

A Geoestatística oferece uma maneira de descrever a continuidade espacial que é uma das características essenciais de muitos fenômenos naturais (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989) e pode fornecer a metodologia para a avaliação da incerteza espacial, dependendo da técnica utilizada, por meio de conceitos e ferramentas para a elaboração de modelos de superfície que permitem a identificação de anomalia nos dados e estabelecendo intervalos de confiança em torno dos dados estimados (BABISH, 2006).

O valor do dado estimado para locais que não estão ou não podem ser amostrados diretamente, é obtido a partir do exame das amostras dos dados coletados, para os quais é estabelecido um modelo de correlação espacial que será usado para interpolar valores de dados para as localidades sem valores coletados (BABISH, 2006). A eficiência da análise Geoestatística depende do grau de representatividade dos dados coletados em relação ao fenômeno estudado e da qualidade da seleção dos parâmetros do modelo.

Existem várias técnicas de interpolação, tais como o Polígono de Thiessen, a Mínima Curvatura (Spline), Inverso do Quadrado da Distância, sendo que diversos estudos apontam que a krigagem apresenta melhores resultados para interpolação da precipitação que os métodos convencionais (TOBIOS e SALAS, 1985; PHILIPS *et al.*, 1992; GOOVAERTS, 2000).

a) Krigagem

A krigagem é uma técnica estocástica de interpolação espacial que utiliza funções matemáticas e estatísticas para estimar o valor de um ponto não amostrado, tendo como base a correlação espacial entre os pontos amostrados. A krigagem consiste, em linhas gerais, nos seguintes passos (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; GOOVAERTS, 1997):

- 1- análise exploratória da variável: o objetivo é organizar, apresentar e sumarizar os dados, para conhecimento inicial e familiaridade com a variável em estudo.

- 2- elaboração do variograma experimental: o variograma é uma curva que representa a variância, que é uma medida de do grau de correlação espacial entre dados amostrados como uma função da distância e da direção entre pares de pontos. Controla como os pesos dos pontos serão distribuídos durante a interpolação, e consequentemente, controla a qualidade dos resultados.
- 3- Ajuste do modelo do variograma: o variograma experimental fornece os parâmetros para o ajuste do modelo, que fornece uma fórmula matemática para a relação entre valores a distâncias específicas, considerando a continuidade espacial. A seleção do modelo apropriado para o conjunto de dados influencia a predição dos valores a serem estimados, e por isso deve ser feita com critérios sólidos.

b) Simulação Estocástica

A simulação estocástica foi utilizada para quantificar as incertezas e apontar áreas com probabilidade de ocorrência de chuvas intensas.

Muitos estudos requerem uma medida da incerteza dos valores de atributos comuns, em diversas posições tomadas em conjunto, como por exemplo, a possibilidade de ocorrência de eventos abaixo ou acima de determinados limiares em dada localidade. Esta incerteza espacial é modelada por meio da geração de múltiplas realizações da distribuição dos valores do atributo no espaço, num processo conhecido como simulação estocástica (GOOVAERTS, 1997). A interpolação estocástica incorpora o conceito de aleatoriedade a partir da correlação estatística e permite a quantificação das incertezas, ao contrário dos métodos de interpolação determinísticos, que assumem que o conjunto de dados não possui erros (BABISH, 2006).

A simulação estocástica condicional é uma extensão espacial do conceito de simulação Monte Carlo e fornece um método para quantificar a incerteza (BABISH, 2006), consistindo em uma técnica de interpolação que gera diversas realizações ou cenários, nos quais valores de dados conhecidos são “honrados” (as realizações são condicionadas aos dados coletados) e cada realização é diferente das outras porque sempre há um grau de incerteza nos pontos não

amostrados. Os cenários gerados são equiprováveis, ou seja, tem a mesma probabilidade de ocorrência (REMACRE e SACANI, 2005).

Em contrapartida, o objetivo da simulação estocástica é reproduzir a variância do dado, no aspecto univariado por meio do histograma, e no espacial, do variograma (BABISH, 2006), ou seja: a reprodução das características globais e estatísticas (histograma e covariância) é priorizada em relação à acurácia local na obtenção de vários conjuntos alternativos de representações (OLIVEIRA, 1997). O aprofundamento da discussão teórica do método pode ser encontrado nas obras de Journel e Huijbregts (1978), Isaaks e Srivastava (1989), Goovaerts (1997) e Chilés (1999).

De acordo com Bohling (2005), a simulação consiste basicamente em adicionar novamente o “ruído” que é retirado pelo efeito suavizador da krigagem, resultando em uma melhor representação da variabilidade natural do atributo e propiciando maneiras de quantificar a incerteza espacial.

Goovaerts (1997) discute que algoritmos de interpolação, como a krigagem, tendem a suavizar detalhes locais da variação do atributo: baixos valores são superestimados e altos valores são subestimados, tendendo aproximação com a média e minimização da variância. Essa tendência condicional representa séria limitação quando se tenta detectar padrões de valores extremos. Outra desvantagem é que a suavização não é uniforme, pois é mínima próxima aos locais amostrados e cresce quando o local a ser estimado está distante dos dados, resultando em um mapa que aparenta maior variabilidade em áreas densamente amostradas que em locais onde os dados são mais esparsos. Desta forma, o autor considera que mapas interpolados com suavização não devem ser utilizados para aplicações sensíveis à presença de valores extremos e seus padrões de continuidade, pois falha em reproduzir valores críticos, subestimando, por exemplo, montantes diários de precipitação intensa passíveis de deflagração de escorregamentos ou alagamentos.

Neste estudo foi utilizado o algoritmo de simulação para variáveis contínuas denominado Simulação Sequencial Gaussiana (SSG). A SSG fornece a estimativa da média e da dispersão para cada nó da grade, possibilitando a representação da variável como aleatória seguindo uma distribuição normal ou Gaussiana. Em vez de apresentar apenas a média como a estimativa para cada nó, tal como a krigagem, a SSG representa os desvios aleatórios da distribuição normal,

obtidos pelo histograma, selecionados de acordo com um número aleatório, representando o nível de probabilidade (BOHLING, 2005).

Os algoritmos de simulação sequencial condicionada aplicam o Teorema de Bayes (JOURNEL e ALABERT, 1989), onde a variável é interpretada como realização de uma função aleatória (FA) que é obtida a partir do histograma (distribuição) e do variograma (dispersão).

“A técnica requer inferências sucessivas (n-1) distribuições de probabilidades condicionais (...) por adoção do modelo gaussiano. (...) Cada variável é simulada de acordo com sua ccdf [função de distribuição acumulada condicional] completamente caracterizada através de um sistema de krigagem” (OLIVEIRA, 1997)

As realizações da simulação são geradas a partir da equação:

$$Z_s = Z_k + \sigma_k U \quad (1)$$

onde,

Z_s = realizações

Z_k = estimativa da krigagem simples;

σ_k = variância

U = função aleatória

Os passos para a implementação da Simulação Sequencial Gaussiana consistem em (DEUSTCH e JOURNEL, 1992; GOOVAERTS, 2007):

- 1- cálculo dos parâmetros estatísticos do dado original;
- 2- transformação do conjunto de dados original em gaussiano;
- 3- cálculo e modelagem do variograma dos dados gaussianos;
- 4- definição da grade;
- 5- definição de um caminho aleatório visitando cada nó da grade apenas uma vez;
- 6- geração de um valor para cada nó da grade utilizando a equação (1), determinando os parâmetros da distribuição cumulativa da probabilidade condicional gaussiana (média e variância) usando o modelo de variograma previamente definido;

- 7- adição do valor simulado ao conjunto de dados originais;
- 8- retorno e repetição dos passos 5 a 6 até que todos os N nós da grade sejam simulados.

Após estas etapas, o resultado das simulações foi avaliado e realizada a anamorfose do conjunto de dados gaussiano para os valores originais.

O resultado das N realizações obtidas são os mapas que apresentam diferentes cenários que foram condicionados aos pontos, com as possíveis configurações espaciais para a precipitação com base nas informações conhecidas e que têm a mesma probabilidade de ocorrência. Foi também possível obter a medida da incerteza sobre a distribuição espacial dos valores da precipitação, permitindo distinguir áreas de baixa incerteza (aquelas que permaneceram estáveis em todas as realizações) e de alta incerteza (aquelas nas quais ocorreram grandes flutuações entre as realizações).

c) Técnicas geoestatísticas: Simulação com Deriva Externa

Um dos principais problemas em relação ao tratamento dos dados atmosféricos, bastante conhecido dos climatologistas, é a limitação da distribuição de estações de coletas de dados. Com o avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas, instrumentos de coleta de dados com maior abrangência de cobertura espacial, tais como as imagens de satélite e de radar, têm sido aprimorados, tornando-se mais acessíveis.

Todavia, uma das maiores restrições dessas fontes é a escala temporal. Os dados disponíveis são, do ponto de vista climatológico, muito recentes, restringindo a aplicação em investigações que necessitam de séries temporais mais longas. Desta forma, a fonte de dados viável para estes estudos continua sendo os provenientes dos postos e estações que, como já abordado, são escasso.

Neste estudo, buscou-se suprir esta carência, lançando mão de metodologias que possibilitam a integração de outras informações que possam colaborar para uma melhor compreensão da precipitação.

A técnica de krigagem com deriva externa (KDE) tem como premissa que a precisão da estimativa de uma variável principal, não suficientemente amostrada, pode ser melhorada considerando-se a correlação espacial entre a variável principal e outras variáveis com dados mais abundantes que possam incorporar informações relevantes ao atributo principal (JOURNAL

e HUIJBREGTS, 1978; BABISH, 2006). As relações entre as variáveis devem refletir principalmente as interações físicas, sendo imprescindível o conhecimento do pesquisador sobre a dinâmica física do objeto de estudo e do conjunto de dados original (REMACRE, 2005).

Na utilização da SSG com deriva externa, o objetivo foi o de condicionar as realizações aos dados dos postos pluviométricos, e nos locais em que os dados estavam pouco amostrados aos dados da altimetria, declividade ou exposição de vertentes.

O produto da simulação e da simulação com deriva externa se configuram como mapas de cenários equiprováveis,

d) Técnicas geoestatísticas: Visualização da incerteza espacial

O conjunto de realizações alternativas da distribuição espacial de um atributo, em geral, não é por si o objetivo do estudo. Nas realizações geradas, a distribuição (histograma) dos diversos valores fornece a medida da incerteza que resulta do conhecimento imperfeito da distribuição espacial do atributo (SRIVASTAVA, 1994; GOOVAERTS, 1997). As medidas resultantes podem ser usadas em análises de risco e tomadas de decisão.

A série de realizações obtidas passa por um procedimento de pós-processamento, gerando um resumo da incerteza espacial do estudo, por meio de diferentes tipos de exibição (GOOVAERTS, 1997):

- Mapa de média das realizações: fornece os valores médios do conjunto de realizações em cada nó da malha. A representação mostrada neste mapa é, em geral, muito similar ao resultado obtido pela krigagem;
- mapa de desvio padrão: representa os valores de desvio padrão do conjunto de realizações para cada nó da malha. Permite observar a dispersão entre as N realizações e reflete graus de incerteza;
- mapas de probabilidade: mostra locais onde a variável excede determinados limiares. Para cada nó é calculado o número de realizações, nas quais o valor simulado excede ou é igual ao valor de corte estabelecido pelo pesquisador.

Por meio desses mapas, foram elaborados os diferentes cenários englobando as incertezas espaciais da precipitação. Os cenários permitirão observar as áreas com maior/menor grau de incerteza para a interpretação.

4.4. Procedimentos metodológicos realizados no Capítulo 8

No Capítulo 8 busca-se oferecer ferramentas para o planejamento urbano a partir de proposta inicial de modelagem preditiva das ocorrências de impactos considerando as especificidades dos municípios da área de estudo (sumário na Figura 4.10).

Procedimentos realizados no capítulo 8				
	Materiais	Fontes	Técnicas	Produtos/ objetivos
B D ¹²	Variáveis utilizadas na modelagem	diversas	Levantamento	Banco de dados das variáveis explanatórias associadas à ocorrência de impactos deflagrados por precipitações nos municípios em estudo
P R O C E S S A M E N T O	Banco de dados das variáveis explanatórias associadas à ocorrência de impactos deflagrados por precipitações nos municípios em estudo	-----	<u>Redes Neurais</u>	Análise exploratória das variáveis explanatórias
			Mapas auto-organizáveis (SOM)	Modelagem preditiva de ocorrência de impactos
			<u>Empírica</u> Regressão Linear Muúltipla	Modelagem preditiva de ocorrência de impactos

Figura 4.10 Sumário dos materiais e técnicas utilizados no Capítulo 8
Elaborado pela autora

Foi realizada a seleção das possíveis variáveis explanatórias para a ocorrência de impactos nos municípios do litoral. Tendo em vista que os impactos relacionados a chuvas no escopo desta pesquisa ocorrem na intersecção entre as dimensões físicas e humanas, buscou-se elencar tanto dados físicos e quanto socioeconômicos para os 12 municípios da Baixada Santista e Litoral Norte, buscando captar a suscetibilidade e a vulnerabilidade na região. Em virtude da resolução das informações obtidas, foram adotadas as escalas municipal, como unidade espacial e anual como recorte temporal. Foram analisados os dados do período entre 1993/94 e 2003/2004 e as variáveis escolhidas, as fontes e as escalas adotadas encontram-se na Figura 4.11. O recorte

¹² Banco de dados

	Variável	Descrição	Escala	Fontes
S U S C E T I B I L I D A D E	Precipitação total (PcpT)	Precipitação total anual por município	Ano	DAEE Consistidos pelo CEPAGRI
	Precipitação média (PcpMd)	Precipitação média anual por município		
	Desvio padrão da precipitação (PcpS)	Desvio padrão intraanual da precipitação		
	Altitude média (ZMd)	Altitude média por município	Município	MDE ASTER (USGS)
	Desvio padrão da altitude	Desvio padrão da altitude no município		
	Declividade média (DcvMd)	Declividade média por município		
	Desvio padrão da declividade (DcvS)	Desvio padrão entre os valores de declividade no município	Município/ano	Banco de dados elaborado para este estudo (diversas fontes)
	Ocorrências de impactos (Haz)	Número de episódios pluviais impactantes		
	Ocorrências de El Niño (EN)	Atuações de El Niño classificadas de acordo com a intensidade 0-não ocorrência 1-fraca intensidade 2-intensidade moderada 3-forte intensidade	Ano	1. Boletim Climanálise ¹³ CPTEC/INPE 2. CPTEC/INPE ¹⁴ 3. Cartas sinóticas da Marinha do Brasil
	Ocorrências de La Niña (LN)	Atuação do La Niña classificadas de acordo com a intensidade 0-não ocorrência 1-fraca intensidade 2-intensidade moderada 3-forte intensidade		
	Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (Z)	Número de configurações da ZCAS na área	Número/ ano	

Figura 4.11 Informações sobre as variáveis utilizadas para composição do Banco de Dados para modelagem
Elaborado pela autora

¹³ <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>

¹⁴ <http://enos.cptec.inpe.br/>

Variável		Descrição	Escala	Fontes
S U S C E T.	Solo predominante (SoPrd)	Tipo de solo predominante por município	Município	1. Mapa pedológico do Estado de São Paulo 1:500.000 (EMBRAPA) 2. Classes gerais de solos no Brasil
	Solo urbano (SoUrb)	Tipo de solo sobre o qual se encontra assentada a mancha urbana		
	Solo em área de relevo movimentado (SoEs)	Tipo de solo predominante em área de morros		
V U L N E R A B I L I D A D E	População (PopT)	Número de habitantes por município	Número/ano	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ¹⁵ Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) ¹⁶
	Densidade Demográfica (DD)	População total dividida pela área do município	Habitantes /ano	
	Taxa de urbanização (UrbT)	Porcentagem da população urbana em relação à população total	%/ano	
	Áreas de Risco (AR)	Áreas com possibilidade de perda ou dano social e econômico, causada por uma condição ou processo de origem natural, que pode ser induzido ou potencializado por intervenções nos terrenos, executadas de maneira inadequada (SEADE, 2009)	Número/município	

Figura 4.11 Informações sobre as variáveis utilizadas para composição do Banco de Dados para modelagem
Elaborado pela autora

¹⁵ <http://www.ibge.gov.br/home/>

¹⁶ <http://www.seade.gov.br/>

	Variável	Descrição	Escala	Fontes
V U L N E R A B.	Índice de desenvolvimento humano (IDH)	Índice estabelecido a partir das variáveis longevidade, educação e renda.	Adimensional Município	IBGE Fundação SEADE
	Intensidade da Pobreza (IP)	Distância percentual entre a renda média <i>per capita</i> dos indivíduos pobres e a linha da pobreza (R\$ 75,50)	%/município	
	Índice de Gini (IG)	Mede a desigualdade de renda	Município	
	Homicídios (Hm)	Número de pessoas assassinadas	Pessoas/município	
	Taxa de Homicídios (HmT)	Percentual entre a população total e o número de vítimas de homicídio	%/município	

Figura 4.11 Informações sobre as variáveis utilizadas para composição do Banco de Dados para modelagem
Elaborado pela autora

temporal (1993/94 – 2003/04) foi definido de acordo com a disponibilidade dos dados de precipitação, para que fosse possível a utilização do dado de chuva.

O homicídio foi adotado para a composição do modelo seguindo a sugestão da UNDP/BCPR (2004), que coloca ser interessante o uso de variáveis relacionadas com conflitos como indicadores de risco. Segundo dados do Sistema Único de Saúde (SOUZA, 2006) as taxas de homicídio no Brasil são semelhantes às de países onde existem conflitos civis, sendo que estudos apontam que as mais altas taxas são registradas em áreas em que problemas de desemprego, pobreza, falta de habitação, carência de serviços básicos e violação dos direitos humanos são particularmente agudos (ABRAMOVAY, 2002), apontando para marcada vulnerabilidade e baixa resiliência da população.

Após a seleção das variáveis os dados foram analisados utilizando-se o Mapa Auto-Organizável (SOM, do inglês *Self Organized Map*), cujos detalhes serão expostos a seguir. O conjunto de dados originais foi dividido em grupo de treinamento (que foi processado) e grupo de validação (que foi separado e utilizado depois como validador). O primeiro foi processado (detalhes no item a seguir) e os resultados foram observados através de imagens geradas, que permitiram a análise exploratória da variável. Após o processamento do grupo de treinamento e avaliação dos níveis de erro, o modelo foi aplicado ao grupo de validação. Foram simuladas 15

realizações preditivas da variável impacto, sendo extraída a mediana entre as 15 realizações como resultado, que foram validados através da validação cruzada *leave-one-out*, que consiste em remover os dados e simulá-los, avaliando o valor obtido.

Após o uso do SOM, foi empregada uma técnica tradicionalmente utilizada em equações preditivas: a Regressão Linear Múltipla. Foram geradas 4 equações de regressão, aplicadas aos dados e os valores resultantes foram validados por comparação com os dados originais.

A seguir, são apresentados maiores detalhes sobre o processamento a partir do SOM.

Mapas Auto-Organizáveis (SOM)

O Mapa Auto-Organizável é uma técnica baseada no algoritmo de Kohonen (1989) e consiste em uma rede neural artificial (RNA) de caráter competitivo e não supervisionada, tendo sido introduzida por esse autor na década de 1980 (KOHONEN, 2001) e que juntamente com seus colaboradores, constitui-se ainda hoje na principal fonte sobre o assunto (KANGAS *et al.*, 1990; KASKI e KOHONEN, 1997; ALHONIEMI *et al.*; 1999; VESANTO, 2002).

O crescente uso desse modelo vai ao encontro de uma forte demanda relacionada à aplicação de RNAs para a análise de dados multivariados e de grande volume nos mais diversos campos do conhecimento, tais como: ecologia (CEREGHINO *et al.*, 2001), geografia (WINTER e HEWITSON, 1994; OPENSHAW, 1994), sensoriamento remoto (JI, 2000), geociências (PEREIRA LEITE, 2010; FRIEDEL, 2010), entre outros. Destacam-se aqui algumas características genéricas do SOM (ZUCHINI, 2003) que são relevantes para aplicação desta proposta:

- capacidade de operar em conjunto com dados volumosos;
- capacidade de operar dados com um grande número de características (alta dimensionalidade);
- utilização de aprendizado não supervisionado;
- redução da dimensionalidade do conjunto de dados de entrada (projeção);
- possibilidade de avaliação gráfica dos resultados obtidos;
- algoritmos relativamente simples e rápidos;

Além das características citadas, devido aos objetivos desse trabalho, destaca-se a capacidade projetiva do SOM que o torna uma ferramenta das mais aptas para o tratamento de dados de alta dimensionalidade como os espaço-temporais. Outra característica se refere a sua capacidade de preditividade de dados. A predição é, em termos estatísticos, a aptidão de geração de valores usando modelos matemáticos em combinação com a informação disponível.

O entendimento do funcionamento do SOM passa por sua inspiração neurobiológica no córtex cerebral dos mamíferos, onde os sinais oriundos de processos sensoriais e motores como: visão, olfato, locomoção, linguagem, etc. são processados por grupos de neurônios: distintos, especializados e próximos entre si, segundo semelhanças entre esses sinais. Tais semelhanças estão sujeitas a uma lógica de organização topológica, onde certas características são mantidas para formação de grupos (*clusters*) durante todo o processo (KOHONEN, 2001) de caminhamento para neurônios específicos. Essa funcionalidade é analogamente reproduzida pelo algoritmo SOM, sobretudo na formação de redes neurais competitivas para o mapeamento de agrupamentos com base na auto-organização inerente ou “natural” ao conjunto de dados de entrada segundo suas características topológicas.

O simulacro do processo descrito acima acontece no SOM como um conjunto de dados de entrada na forma de vetor $\mathbf{x}_k = [x_{k1}, \dots, x_{kD}]^T$, $k=1, \dots, N$, sendo k o número de vetores de entrada num espaço d -dimensional ($\mathbb{R}^d$) representado por uma matriz $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N]$. Os vetores de entrada são apresentados de forma aleatória e repetitiva a uma rede neurônios i onde cada unidade está associada a um vetor protótipo ou vetor de peso sináptico $\mathbf{m}_i = [m_{i1}, \dots, m_{iD}]^T$ de mesma dimensionalidade dos dados de entrada. A similaridade e, por conseguinte, a auto-organização dos dados, é estabelecida de maneira competitiva entre todos os neurônios da rede pelo direito de representar o vetor de entrada. O critério de medida para isso é uma métrica, usualmente a distância euclidiana $d(\mathbf{x}_k, \mathbf{m}_i)$, também utilizada neste trabalho, na forma de um índice como segue:

$$c = \arg \min_i \{\|\mathbf{m}_i - \mathbf{x}_k\|\} \quad (2)$$

Assim, o neurônio vencedor (índice c) na matriz SOM será aquele cujo vetor protótipo $\mathbf{m}_i$ apresentar a menor distância do vetor de entrada $\mathbf{x}_k$, sendo denominado de unidade de melhor ajuste, do inglês *Best Match Unit* (BMU).

De forma a melhor representar o vetor de entrada o neurônio BMU e seus vizinhos são atualizados iterativamente numa etapa final, completando o aprendizado competitivo, segundo a equação (Kohonen, 2001):

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) + \alpha(t)h_{ci}(t)[\mathbf{x}_k - \mathbf{m}_i(t)] \quad (3)$$

onde, $\alpha(t)$ é a taxa de aprendizado, t é a coordenada discreta de tempo para interação. Para a mensuração do grau de adaptação do BMU é dado que $h_{ci} = h(\|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|, t)$, sendo que c e i são as posições dos neurônios dentro do arranjo, indicando que $\|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|$ é inversamente proporcional à h_{ci} . Uma função gaussiana é comumente usada para esse fim, onde σ é o *raio de vizinhança*:

$$h_{ci} = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (4)$$

O algoritmo de Kohonen pode sofrer algumas poucas variações de acordo com sua aplicação, sendo que neste trabalho foi utilizada sua forma tradicional, descrita à seguir considerando os parâmetros utilizados neste trabalho (adaptado de OPENSHAW, 1994):

- 1- Inicialização. Defina: (i) topologia- hexagonal (ii) tamanho da matriz de neurônios; (iii) dimensionalidade (neste estudo, cada vetor de entrada $\mathbf{x}_k$ representa 24 variáveis, totalizando 2.880 registros. A grade foi definida em 18x12).
- 2- Defina o valor inicial dos vetores de peso sináptico $\mathbf{m}_i$ associados a cada neurônio. (aleatório).
- 3- Aplique uma medida de erro.

- 4- Selecione um neurônio qualquer de peso sináptico $\mathbf{m}_i$ mais próximo do vetor de entrada $\mathbf{x}_k$ e defina o neurônio vencedor (BMU em índice c) (eq. 1).
- 5- Atualize os valores de $\mathbf{m}_i$ dos neurônios topologicamente vizinhos do neurônio vencedor (eqs. 2).
- 6- Reduza os parâmetros de vizinhança h_{ci} em torno do neurônio BMU, e a taxa de aprendizagem $\alpha(t)$ para valores pequenos (eqs. 2 e 3).
- 7- Repita os passos 4 a 6 até a convergência dos valores no mapa (número de interações pode variar de centenas a milhares).

Capítulo 5

Investigação da distribuição da precipitação no período de 1994/95 a 2003/04 nas regiões da Baixada Santista e Litoral Norte paulista

Com o objetivo de compreender de forma contextualizada a ocorrência dos eventos pluviais impactantes, neste capítulo foi analisado o ritmo da precipitação anual na área de estudo no período de 1994/95 a 2003/04. São enfocadas as escalas anual e diária, a distribuição espacial e temporal dos montantes e a relação com os sistemas atmosféricos de abrangência regional e local. Este panorama de escala temporal mais abrangente servirá de apoio para a análise dos eventos pluviais impactantes.

5.1 ESCALA ANUAL

O litoral paulista é uma área com chuvas anuais abundantes. A precipitação média (Figura 5.1) variou entre 1768,7 mm em 2001/2002, até 3.243,3mm em 1995/96, o mais úmido do período. Considerando que a precipitação média na área na década analisada foi de 2.331,0mm, 50% dos anos apresentaram valores abaixo da média (1996/97, 1999/00, 2000/01, 2001/02, 2002/03) e 50% acima da média (1994/95, 1995/96, 1997/98, 1998/99 e 2003/04). Os totais oscilaram entre o mínimo de 642,9mm registrado no ano de 1996/97 em Ilhabela, a elevados 5.399,4mm precipitados em 1995/96 no município de Bertioga (Anexo A).

Analisando os anos mais chuvosos pode-se observar que:

No ano mais chuvoso (1995/96) o posto SF/ São Sebastião registrou o valor mínimo entre os demais: 1952,6mm; o montante máximo de 5399,4mm ocorreu em RI/Bertioga. Em 50% dos postos os totais de precipitação oscilaram entre 2550,0mm e 3900,0mm, mostrando a excepcionalidade do total máximo. Foram observadas anomalias positivas expressivas em todos os postos da área (Figura 5.3), destacando-se PQ/Guarujá com a mais elevada anomalia. Considerando a atuação dos controles de larga escala (Anexo B), este período caracterizou-se pela atuação de La Niña de fraca intensidade.

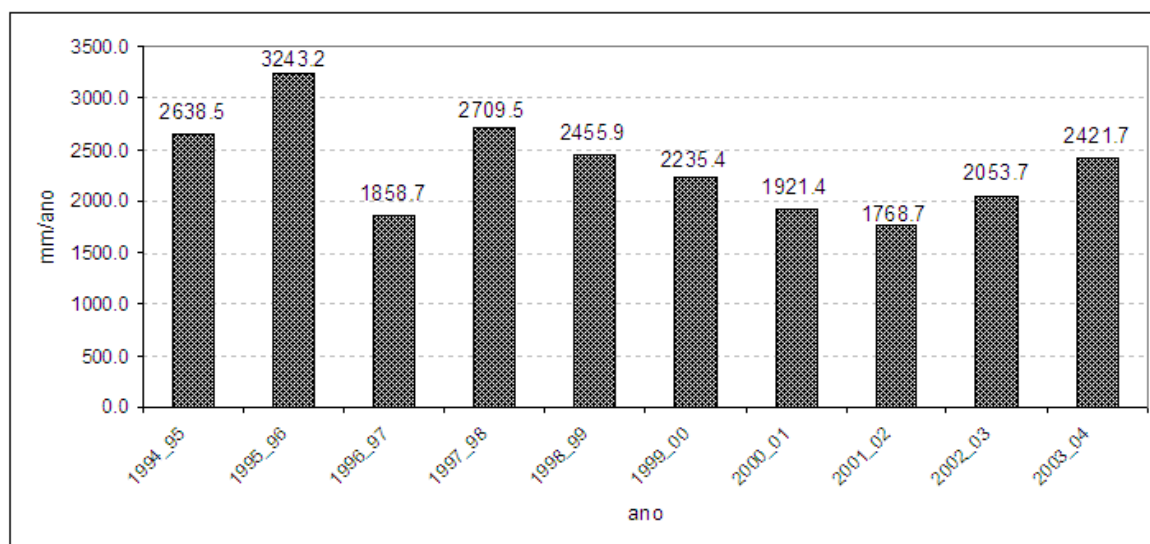


Figura 5.1 Precipitação média anual no período de 1994/95 a 2003/04 na área de estudo
Elaboração da autora

	Média	Min	Q1	Q2	Q3	Máx	SD
1994/95	2638.5	1642.8	1845.2	2708.5	3200.1	4312.5	793.2
1995/96	3243.2	1952.6	2571.8	2854.5	3869.7	5399.4	920.7
1996/97	1858.7	642.9	1618.5	1728.7	2297.0	3338.5	642.1
1997/98	2709.5	1367.9	2028.3	2469.1	3466.2	4921.2	968.1
1998/99	2455.9	1237.4	1881.6	2203.4	3139.2	4573.1	890.5
1999/00	2235.4	1096.3	1653.7	2248.5	2524.8	3961.7	766.0
2000/01	1921.4	752.5	1499.1	2137.1	2362.7	2517.5	537.6
2001/02	1768.7	949.9	1164.2	1694.5	2002.8	2947.0	611.8
2002/03	2053.7	1065.0	1475.1	1839.0	2240.1	4124.4	746.0
2003/04	2421.7	1192.4	1773.3	2065.4	3211.8	4258.5	864.6

Figura 5.2 Distribuição da precipitação entre os anos de 1994/95 a 2003/04 . Q1= 1°.quartil; Q2= 2°. Quartil; Q3= 3°. Quartil; SD=desvio padrão.

Elaboração da autora

A ZCAS esteve bastante ativa, com 6 episódios configurados, acima da média para o período, que é de 3 episódios por ano, contribuindo com transporte de umidade para a região. O avanço de sistemas frontais na área foi abaixo da média (Figura 5.3).

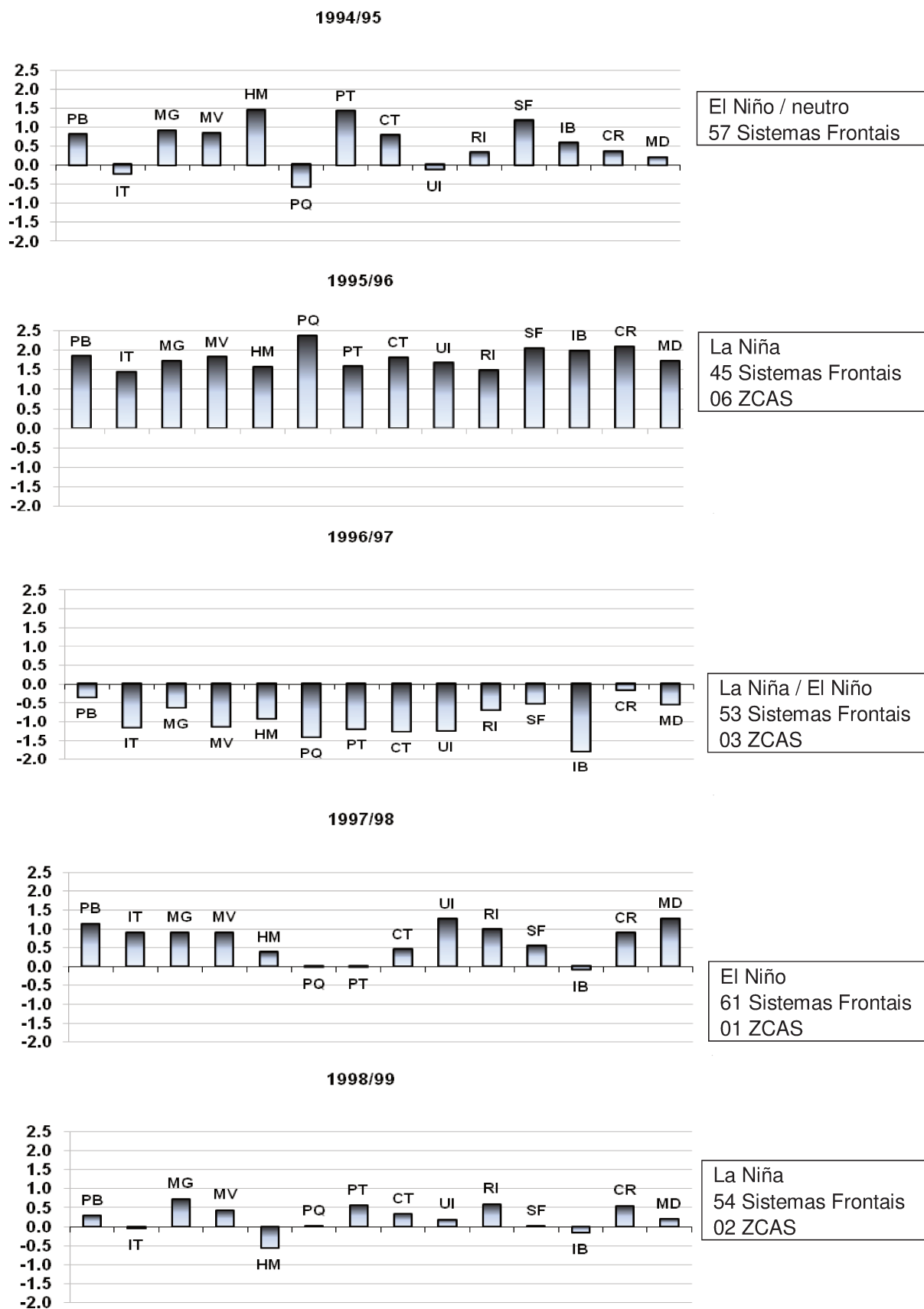


Figura 5.3 Anomalias da precipitação e sistemas atmosféricos

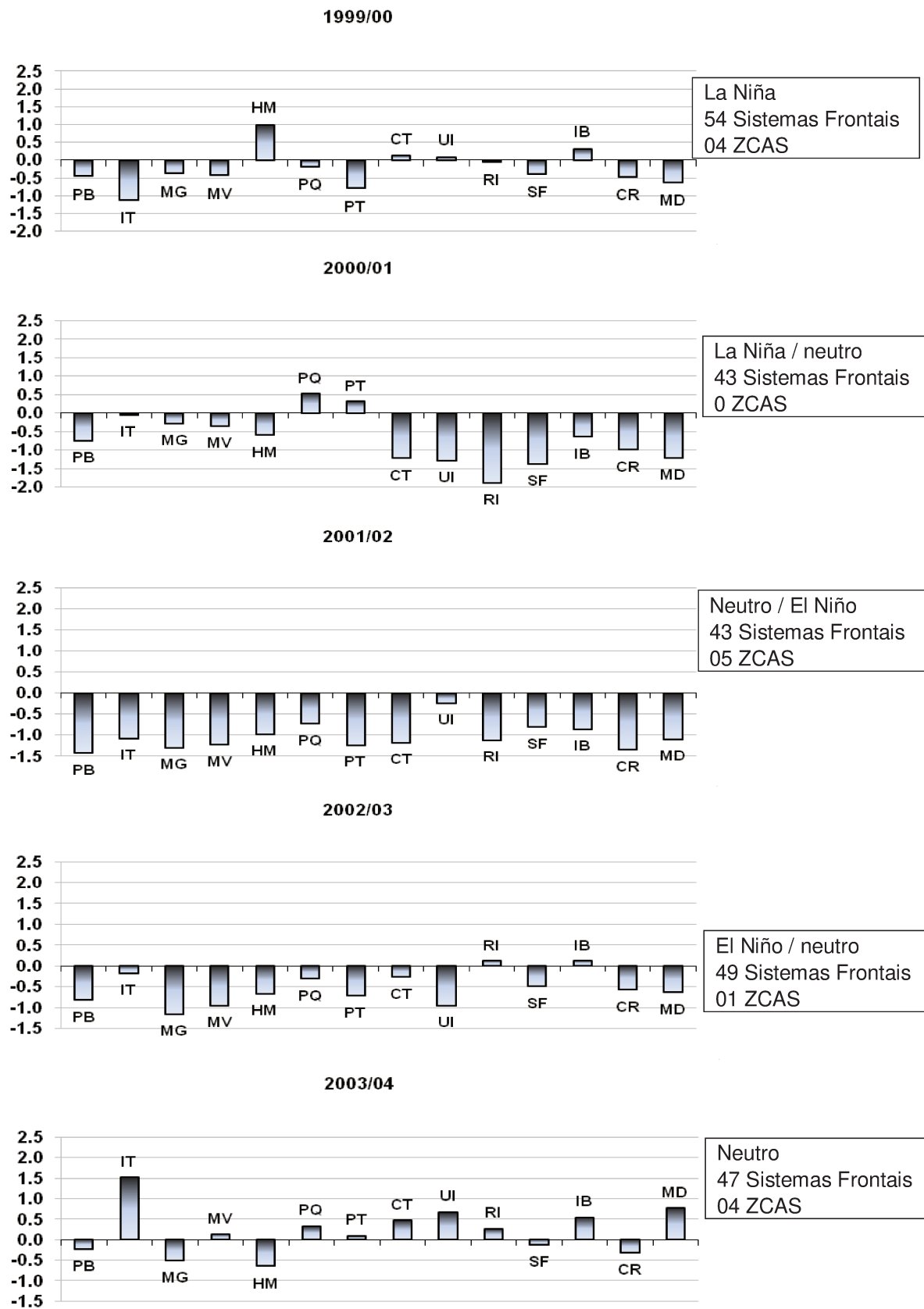


Figura 5.3 Anomalias da precipitação e sistemas atmosféricos (Elaboração da autora)

frontais, que embora tenha avançado em menor número, ficaram estacionários sobre o Sudeste, em episódios bloqueados por VCAN sobre o Nordeste nos meses de dezembro/1995 e janeiro/1996 (CLIMANÁLISE, 1995 e 1996). Também o aquecimento das águas oceânicas 2°C no Atlântico na costa do Sudeste acima da temperatura média em fevereiro e março de 1996 contribuíram para maior atividade convectiva e intensificação dos sistemas frontais que alcançaram a área.

A dinâmica climática de 1997/98 foi bastante investigada, dada a ocorrência de um dos El Niños mais fortes registrados, e embora estudos demonstrem que houve pouca repercussão na precipitação da região Sudeste (OLIVEIRA e SATYAMURTY, 1998; NUNES, 2007), no litoral paulista este ano destacou-se como bastante chuvoso, com média de 2.709,5 mm. Todos os postos, à exceção de IB/Ilhabela, registraram chuvas acima da média e alguns com anomalias positivas de fraca magnitude. Além da atuação do El Niño de forte intensidade, houve maior número de penetração de sistemas frontais do período (61), sendo 55% no verão, mas apenas um episódio de ZCAS.

Também 1994/95 comparece como um ano bastante úmido, com apenas 03 dos 14 postos com valores abaixo da média. HM/São Vicente, PT/Guarujá e SF/São Sebastião apresentaram anomalias positivas. Configurava-se um El Niño moderado e foram observados 57 sistemas frontais, sendo que 54% avançaram na estação mais úmida (outubro a março)¹⁷.

Ainda que 1998/99 possa ser classificado como um ano úmido e que em todos os postos tenha sido registrado chuvas acima da média, os valores ficaram bastante próximos à tendência central, não caracterizando anomalias. Atuava a La Niña com intensidade moderada, tendo havido apenas dois episódios de ZCAS e avanço de 54 sistemas frontais.

2003/2004 registrou chuvas acima da média para o período e em todos os postos a pluviosidade esteve acima da média, mas a única anomalia positiva foi observada em IT/Itanhaém. As condições de ENOS eram de neutralidade. Houve configuração de 04 ZCAS e passagem de 47 frentes.

Analizando os anos com montantes abaixo da média, considerando os menores montantes e magnitudes de anomalias, têm-se:

O ano com menor precipitação foi 2001/02 quando em todos os postos foram registradas chuvas abaixo da média e 7 locais apresentaram anomalias negativas, com destaque para os

¹⁷ Para este ano não foram encontradas informações sobre a atuação da ZCAS

municípios mais meridionais: Peruíbe, Itanhaém, Monguaguá e Praia Grande. Embora o El Niño possa influenciar anomalias pluviais positivas no Sudeste no outono e inverno (NUNES, 1997), neste ano ocorreu o contrário, salientando que não há padrões definidos para a influência deste fenômeno. O avanço de sistemas frontais foi abaixo da média, em decorrência da fraca intensidade das massas de ar frio. Esse período foi reconhecidamente seco em toda a região e mesmo em outros setores do país, que esteve por vários meses sob risco de “apagões”, tendo em vista a natureza da matriz energética, com forte participação de hidroeletricidade. A estiagem deveu-se “(...) à presença de VCANs que atuaram com maior frequência e de maneira anômala sobre o continente, às anomalias atmosféricas relacionadas com a intensa atividade convectiva na região da Indonésia e às Oscilações de Madden-Julian.” (CAVALCANTI e KOUSKY, 2001).

1996/97 apresentou dinâmica semelhante no que tange ao montante anual, bem como observação de anomalias pluviais negativas em 7 postos especialmente nos municípios do setor central: Praia Grande, Santos, Guarujá e Bertioga. Porém Ilhabela, no Litoral Norte, apresentou o maior desvio. Atuava a La Niña que foi seguida pelo El Niño, tendo havido avanço de frentes acima da média e 3 episódios de ZCAS.

5.2. VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E A INCERTEZA ESPACIAL ASSOCIADA

Para a elaboração dos mapas de precipitação anual e estimativa do desvio padrão na área, foi realizado o procedimento de krigagem. Após exaustivos testes, foi ajustado um modelo linear com vizinhança única, ou seja: todos os postos são considerados na estimativa dos pontos não amostrados, sendo esta vizinhança adequada à escassez de postos.

Os parâmetros do variograma experimental, do modelo e da validação cruzada podem ser encontrados no Anexo C.

O modelo foi empregado na elaboração dos mapas de precipitação anual utilizando a krigagem como método de interpolação. As figuras elaboradas são apresentadas como anamórficas, onde locais com maiores totais aparecem em perspectiva de elevação com o objetivo de facilitar a visualização da variabilidade da pluviosidade anual (Figura 5.4).

Em todos os anos analisados a região com maiores montantes pluviais correspondeu à porção central da Baixada Santista, mais especificamente Bertioga e Santos, fato já observado em estudos anteriores (SANT’ANNA NETO, 1990; NUNES, 1997). Essa dinâmica relaciona-se à complexidade dos sistemas atuantes no litoral central descritos por Sant’Anna Neto (1990),

associada à orografia e sistemas frontais que permanecem semi-estacionários bloqueados pelo Anticiclone do Atlântico, ou pela atuação da Frente Polar. Os postos UI/Bertioga e RI/Bertioga foram os mais chuvosos, o que pode estar estreitamente associado ao posicionamento em terreno com grande declividade, refletindo o efeito orográfico. MD/Ubatuba também apresentou totais expressivos, principalmente se comparado aos demais postos do Litoral Norte, dinâmica associada à maior quantidade de terrenos acidentados em virtude do avanço da escarpa.

A conhecida sombra de chuva (CONTI, 1975) observada nos municípios de São Sebastião e Ilhabela (face continental) que tem sua ocorrência ligada à barreira da Ilha de São Sebastião, ficou bastante evidenciada ao longo dos anos analisados, correspondendo à área menos chuvosa. Os baixos montantes do posto em Ilhabela refletem sua localização, voltada para o continente situado à sotavento dos ventos úmidos do oceano. Caraguatatuba também apresentou totais mais baixos, podendo estar também sob influência da sombra de chuva.

Não obstante, nos municípios mais ao sul - Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá, atingidos primeiro pelos sistemas frontais que ocasionam grande parte da precipitação na área - os totais anuais são menores em relação ao setor central, fato relacionado à orientação do relevo: a área sul é dominada pela planície litorânea, com baixas altitudes, diminuindo a influência da orografia.

O mapa de desvio padrão (Figura 5.5) foi organizado como um exemplo da espacialização da incerteza tomada como um instrumento que propicie um apoio na interpretação dos mapas de precipitação anual. O mapa foi obtido a partir do desvio padrão dos pontos estimados para cada nó da malha e os amostrados.

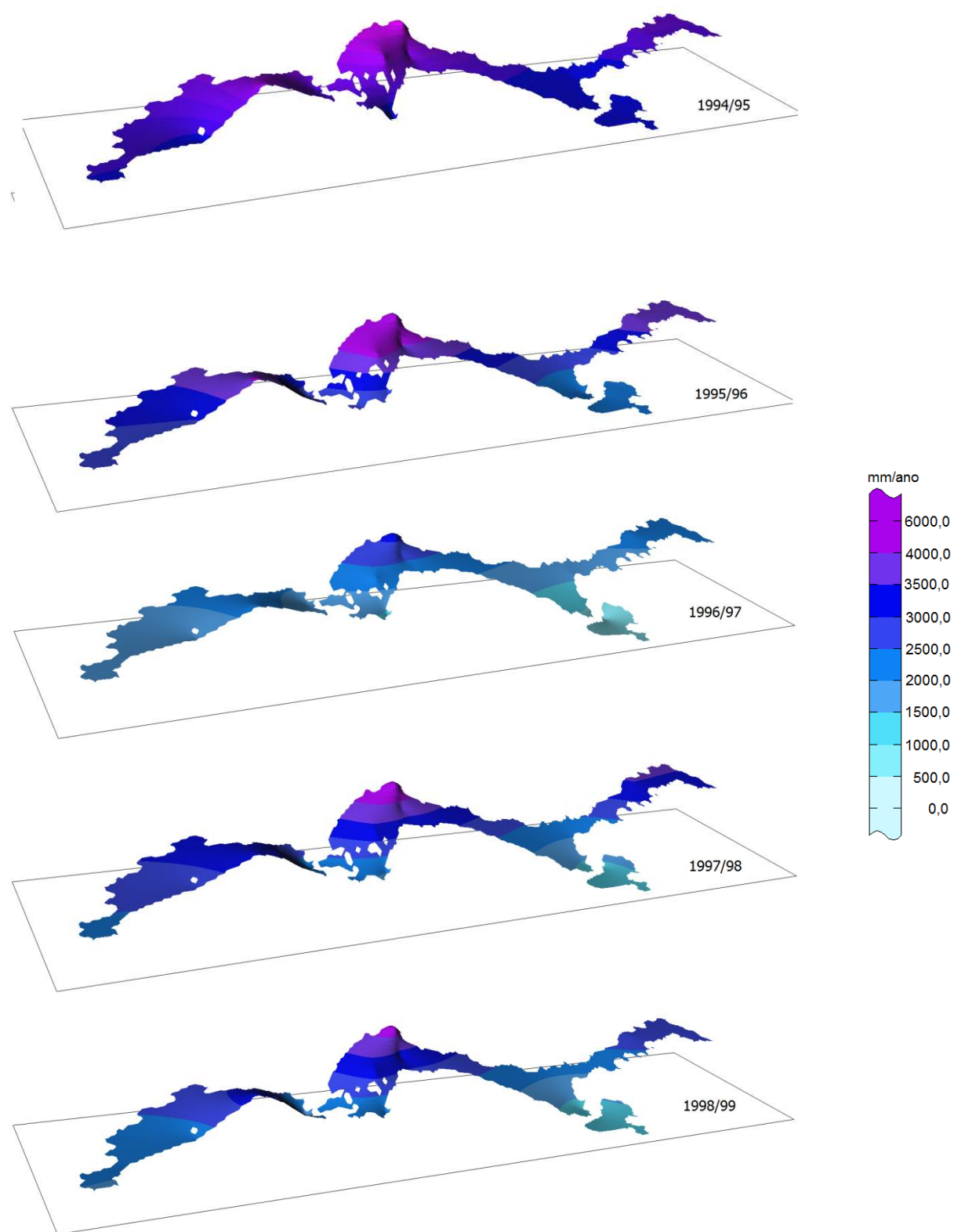


Figura 5.4 – Distribuição espacial da precipitação anual (Elaboração da autora)

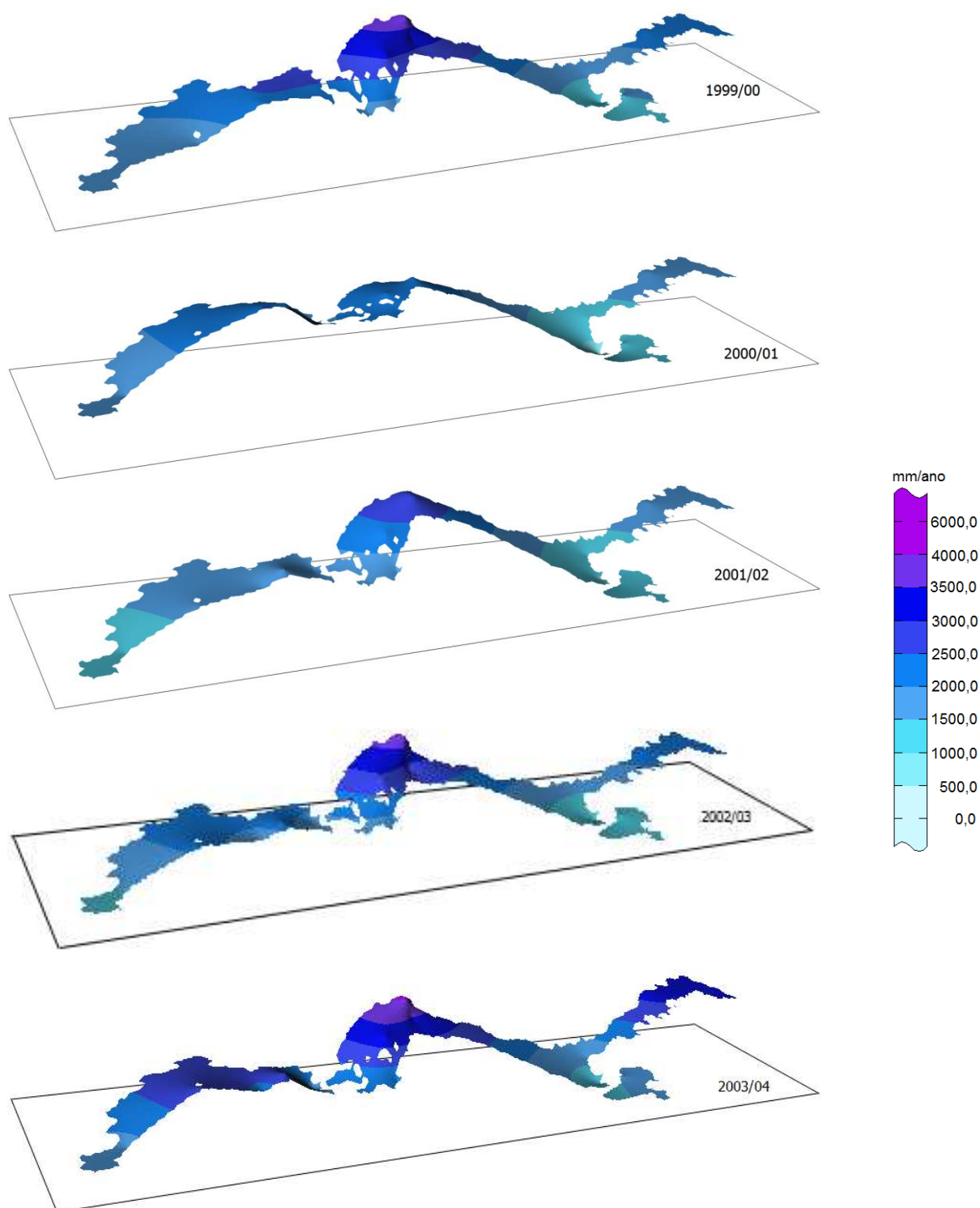


Figura 5.4 – Distribuição espacial da precipitação anual (Elaboração da autora)

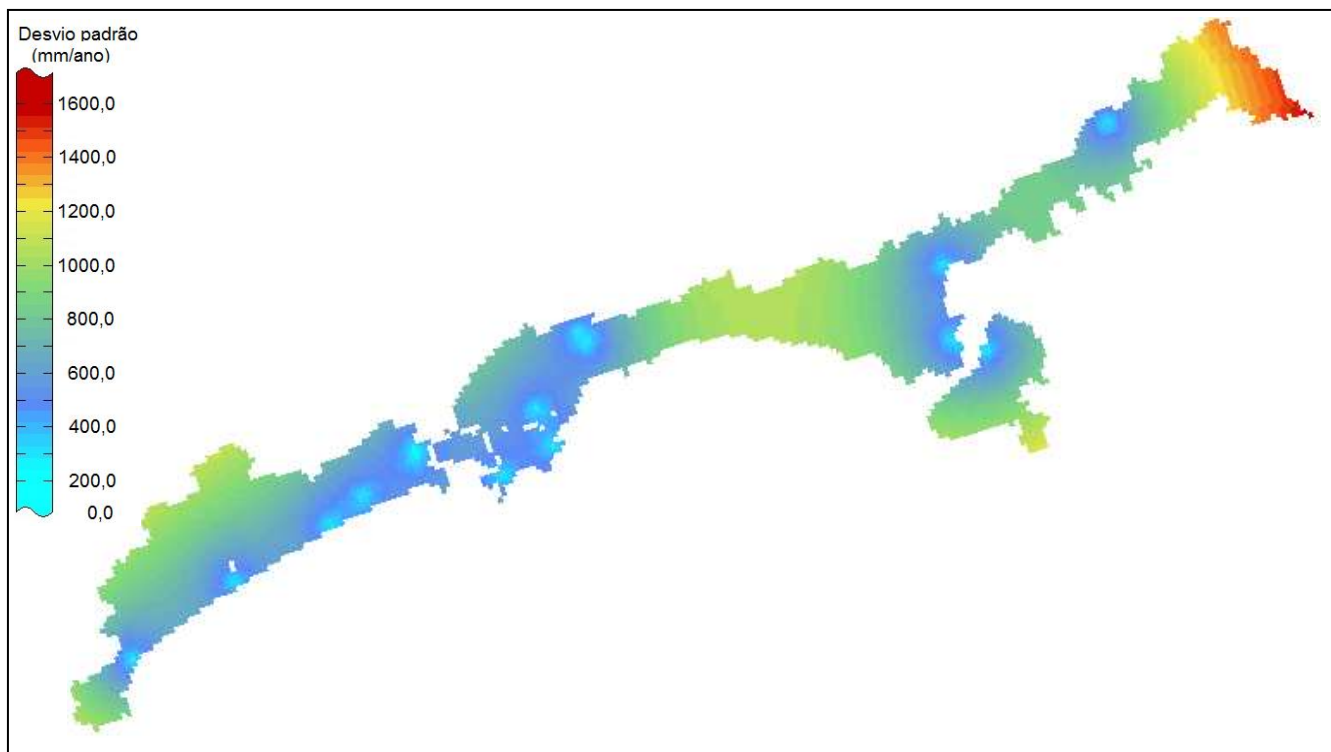


Figura 5.5 Valores de desvio padrão da precipitação anual
Elaboração da autora

Os círculos claros no mapa assinalam as áreas de menor desvio padrão entre os dados amostrados e os estimados, podendo-se desta forma observar locais que apresentam menor incerteza quanto aos valores estimados: a incerteza aumenta em relação direta à distância do ponto amostrado.

Considerando a Baixada Santista, as faixas com baixo desvio padrão correspondem à orla litorânea, ou seja, locais mais densamente amostrados. Há um gradiente de aumento de valores do litoral em direção à escarpa, em especial nos municípios de Peruíbe e Mongaguá, onde a escarpa apresenta desvio de até 1000,0mm/ano. O setor central da Baixada Santista apresentam boa cobertura de postos, e consequentemente, maior confiabilidade para interpretação dos resultados devido a maior cobertura de postos.

As zonas de elevada incerteza estão associadas a terrenos acidentados onde não há postos pluviométricos instalados. Destaca-se o setor mais setentrional de Ubatuba, sítio caracterizado por elevadas altitudes e que comparece com os mais altos valores de desvio padrão. Entre este município e os demais do Litoral Norte, há um intervalo de significativa incerteza que

corresponde a morros elevados vegetados, sendo que nessa região há poucas planícies, que são mais usualmente ocupadas. É concernente observar Ilhabela, com baixos desvios na face continental e altos desvios na face expostas para a zona de domínio oceânico, menos propícia a assentamentos humanos em virtude do relevo, e sem postos instalados. A significativa distância entre São Vicente e Bertioga sem coleta, está associada ao relevo acidentado e densa cobertura vegetal.

Comprova-se, desta forma, que o litoral possui áreas de significativa incerteza espacial para interpretação de mapas pluviais associadas, principalmente, ao relevo acidentado, que se reflete em baixa cobertura de coleta de dados. As áreas mais planas e ocupadas da Baixada Santista, exibem desvios expressivamente mais baixos.

Embora os pontos aqui discutidos já sejam bastante conhecidos em bases empíricas e subjetivas, a produção do mapa de desvio padrão pode se constituir em uma ferramenta mais objetiva na questão da incerteza espacial para conhecimento das áreas de maior/menor incerteza para interpretação de mapas pluviométricos e tomadas de decisão, apontando com maior exatidão onde se localizam tais regiões.

5.3 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

O litoral paulista é notadamente uma área com altos montantes pluviais diários, tanto em episódios isolados, quanto em eventos com duração de dias, com potencialidade para causar impactos. Avaliando um trecho em Cubatão, Nunes (2008) observou que o posto Barragem das Pedras (23°52'S e 46°28'O, 730m) apresentou o impressionante volume de 446,0 mm em um único dia (6 de março de 1955) e sequência de dois dias de 712,2 mm (17 e 18 de fevereiro de 1934). A análise corresponde ao número absoluto, sumarizando os episódios registrados em todos os postos.

O entendimento dos episódios pluviais impactantes passa pela análise da chuva diária, considerando que aqueles estão inseridos nesta escala, e desta forma, é necessária a investigação da distribuição das classes de precipitação em 24h no espaço e no tempo.

Os valores diários corroboram a alta variabilidade da chuva diária no litoral (Figura 5.5, AnexoD), pois embora 82% dos montantes se concentrem nas classes abaixo de 10,0mm/24h, que raramente deflagram impactos, a ocorrência de episódios pluviais acima de 100,0mm/24h é

significativa, chegando a 465,3mm em HM/São Vicente (29/03/2000); e 442,7mm em MD/Ubatuba (13/02/96). Entre os 14 postos, 12 tiveram precipitação máxima acima de 150,0mm/24h, valores bastante altos se comparados a outras localidades do estado de São Paulo.

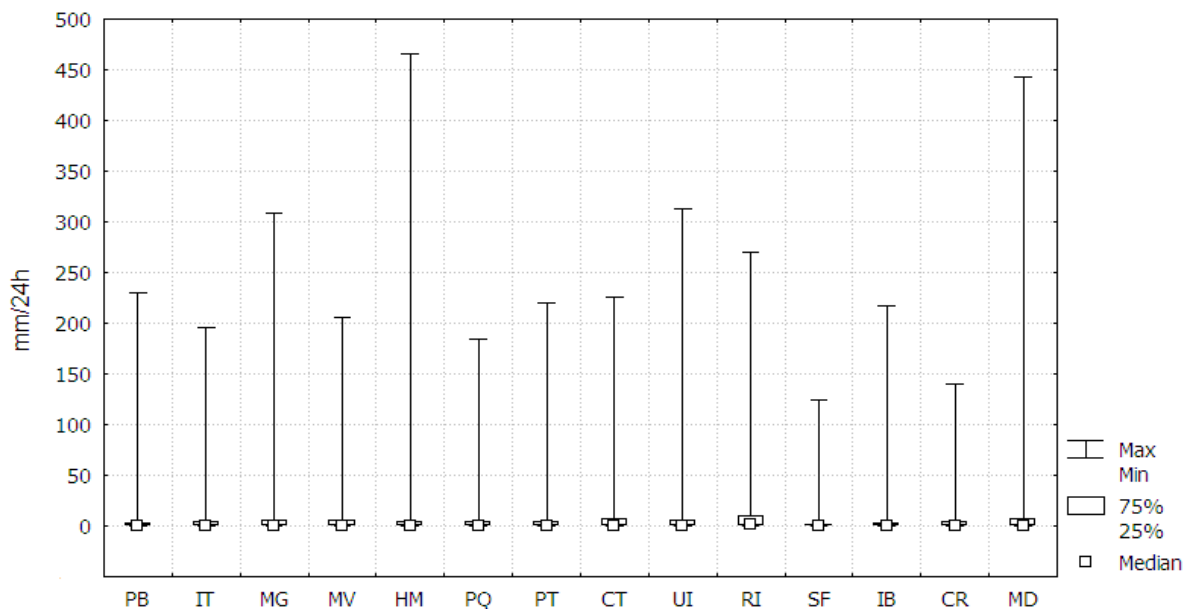


Figura 5.6 Distribuição percentilica dos valores de chuva em 24h
Elaboração da autora

SF/São Sebastião registrou a menor máxima, em conexão com a escala anual, seguido por CR/Caraguatatuba.

Não houve relação escalar entre os máximos anuais e diários, pois as máximas anuais foram registradas em Bertioga, mas as máximas diárias não ocorreram nestes postos, muito embora tenham ultrapassado os 300,0mm em UI/Bertioga e os 250,0mm em RI/Bertioga.

A Figura 5.6 mostra a distribuição de frequências dos montantes precipitados em 24h por posto nos 10 anos analisados. Embora a região seja bastante chuvosa, 75% dos dias têm nenhuma precipitação ou de fraca intensidade, como pode ser observado na Figura 5.6 e no Anexo D, com valores inferiores a 8,0mm/24h, com exceção apenas à RI/Bertioga, onde esse montante sobe para 10,0mm/24h, também pouco expressivo.

MM/24h	PB	IT	MG	MV	HM	PQ	PT	CT	UI	RI	SF	IB	CR	MD	Média
0,0 – 0,1	62.1	48.4	57.6	55.8	60.1	58.1	58.2	48.6	48.9	38.7	70.2	64.3	64.3	52.5	56.3
0,1 – 10,0	23.0	34.6	21.8	24.6	24.1	26.0	25.2	29.6	31.0	35.7	19.3	22.5	22.5	27.1	26.2
10,0 – 50,0	12.8	14.5	17.2	16.1	13.6	14.3	14.8	17.5	16.1	19.9	9.5	12.2	12.2	17.3	14.9
50,0 – 100,0	1.5	2.1	2.8	2.7	2.0	1.2	1.6	3.6	2.6	3.8	1.0	0.8	0.8	2.7	2.1
100,0 – 200,0	0.4	0.4	0.6	0.8	0.3	0.4	0.3	0.7	1.2	1.6	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5
200,0 – 300,0	0.05	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.03	0.03	0.14	0.22	0.00	0.03	0.03	0.03	0.0
300,0 – 400,0	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acima de 400,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00

Figura 5.7 Porcentagem de dias com precipitação nos 10 anos analisados
Elaboração da autora

As chuvas de intensidade moderada entre 10,0 e 50,0mm/24h apresentaram frequências entre 12% (SF/São Sebastião) a 20% (RI/Bertioga), representando cerca de 550 dias com chuvas dessa magnitude por município. Embora sejam precipitações que isoladas têm baixa probabilidade de deflagrar impactos, períodos de chuvas moderadas e contínuas apresentam potencialidade de causar problemas (TATIZANA *et al*, 1987).

Há uma sensível queda de frequência nas chuvas fortes entre 50,0 a 100,0mm/24h (cerca de 77 dias), que até mesmo em episódios isolados podem acarretar impactos. Em CT/Santos e RI/Bertioga ocorreram 132 e 144 dias, respectivamente, número bastante elevado para eventos desta monta.

Episódios a partir de 100,0 mm/72h são considerados como limiar pela Defesa Civil devido a grande potencialidade de deflagração de desastres. Esse montante em 24h apresenta maior intensidade e pode levar mais frequentemente ao rompimento do equilíbrio dinâmico do sistema. Mesmo que percentualmente a média de ocorrências tenha sido baixa, de 0,5% (19 dias), pode ser considerado como elevada frequência, devido a alta probabilidade de problemas associados, ainda mais considerando RI/Bertioga (1,6%) e UI/Bertioga (1,2%), bastante acima da média.

Alguns postos já não apresentaram ocorrências a partir de 200,0mm/24h (IT/Itanhaém, HM/São Vicente, PQ/Guarujá, e SF/São Francisco) nestes 10 anos, a maioria teve baixíssimas frequências entre um e dois episódios, e novamente RI/Bertioga (0,22%) e UI/Bertioga (0,14%), caracterizando a grande excepcionalidade destes eventos altamente impactantes.

Os episódios “espetaculares”, acima de 300,0mm/24h, aconteceram apenas uma vez nos 10 anos em MG/Mongaguá, UI/Bertioga, MD/Ubatuba e HM/Santos.

A distribuição anual da chuva em 24h pode ser observada na Figura 5.7. Os episódios de montantes máximos aconteceram em 1995/96 e 1999/00, quando também foram registrados os

eventos acima de 300,0mm/24h. Em termos gerais, esses dois anos apresentaram comportamento bastante similar na escala diária, em especial nos eventos acima de 200,0mm/24h, o que não se refletiu na escala anual, pois enquanto 1995/96 foi excepcionalmente chuvoso, 1999/00 apresentou pequeno desvio negativo em relação à média.

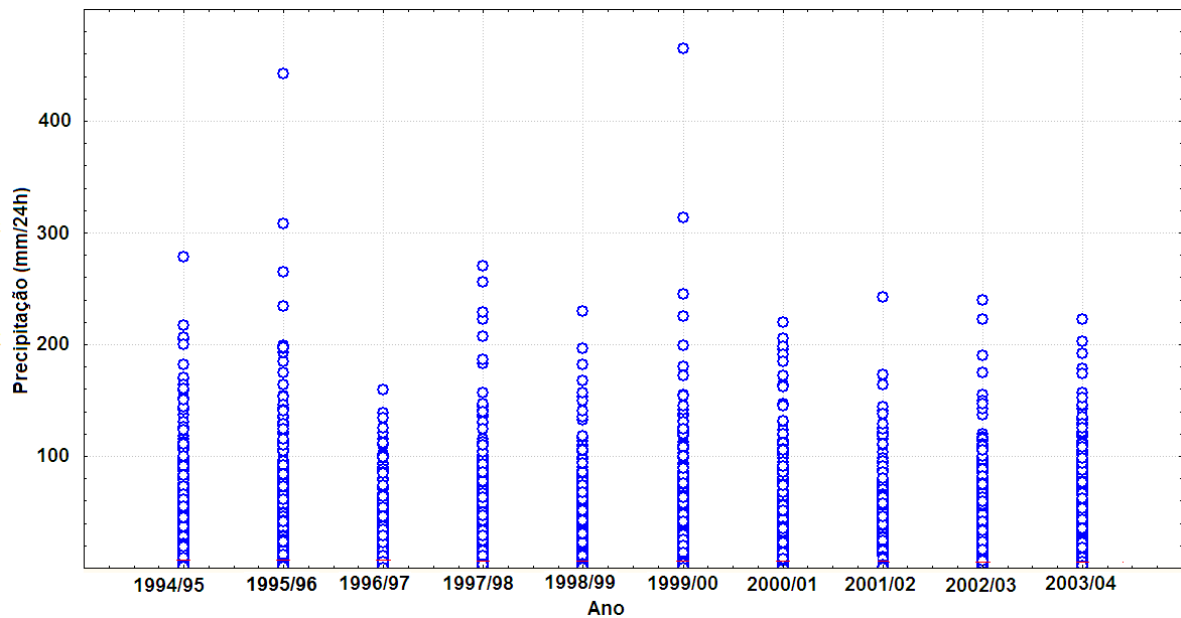


Figura 5.8 Distribuição anual dos eventos pluviais em 24h.
Elaboração da autora

Eventos na classe de 200,00 a 300,0mm/24h foram bastante frequentes em 1997/98, podendo refletir dinâmicas atmosféricas ligadas ao El Niño e ao grande número de avanços frontais no período.

Chuvas com montantes entre 100,0 a 200,0mm/24h apresentaram marcante ocorrência em todos os anos, diminuindo apenas em 1996/97, segundo ano menos chuvoso da série. Em 2001/02, o menos chuvoso, o comportamento foi semelhante, mas com um evento mais intenso.

Capítulo 6

Ocorrências de impactos relacionados a episódios pluviais

Embora o setor litorâneo paulista apresente elevados montantes pluviais, em especial no verão, nem todos os eventos extremos de precipitação ocasionam algum tipo de calamidade, como desabrigados, mortos ou interrupção temporária das atividades econômicas. Embora a vulnerabilidade da população esteja relacionada ao nível socioeconômico do grupo atingido, o que se reflete diretamente em sua resiliência, a ocorrência de eventos muito distantes do ritmo habitual terá grande probabilidade de provocar impactos de grande monta, que atingirão diversas parcelas da população, mesmo aquelas menos vulneráveis.

As chuvas intensas que provocam impactos no litoral paulista são decorrentes da atuação de diferentes sistemas atmosféricos de escala regional e local e de sua interação com as características da superfície na área, sendo tarefa complexa estabelecer padrões ou limiares para estas ocorrências, o que dificulta o planejamento por parte dos órgãos responsáveis em ações de prevenção a estes desastres.

Neste capítulo, com objetivo de contribuir para o avanço no conhecimento dos problemas relacionados aos eventos de precipitação intensa, foram analisadas ocorrências de impactos mistos (escorregamentos, rolamento de bloco e corridas de massa) ou de natureza hidrometeorológica (inundações e alagamentos) nos municípios da área de estudo associados a chuvas intensas, considerando o período de 1995 a 2004. Foram também investigados os sistemas atmosféricos que estavam atuando no período, a duração (em dias), os montantes resultantes e a distribuição espacial dessas ocorrências.

6.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO IMPACTANTE

Foram levantados 129 episódios de precipitação intensa que deflagraram impactos hidrometeorológicos e mistos nos municípios da área de estudo, perfazendo uma média de 13 ocorrências ao ano. Esses eventos tiveram duração variada de 1 a 15 dias (Figura 6.1). A moda

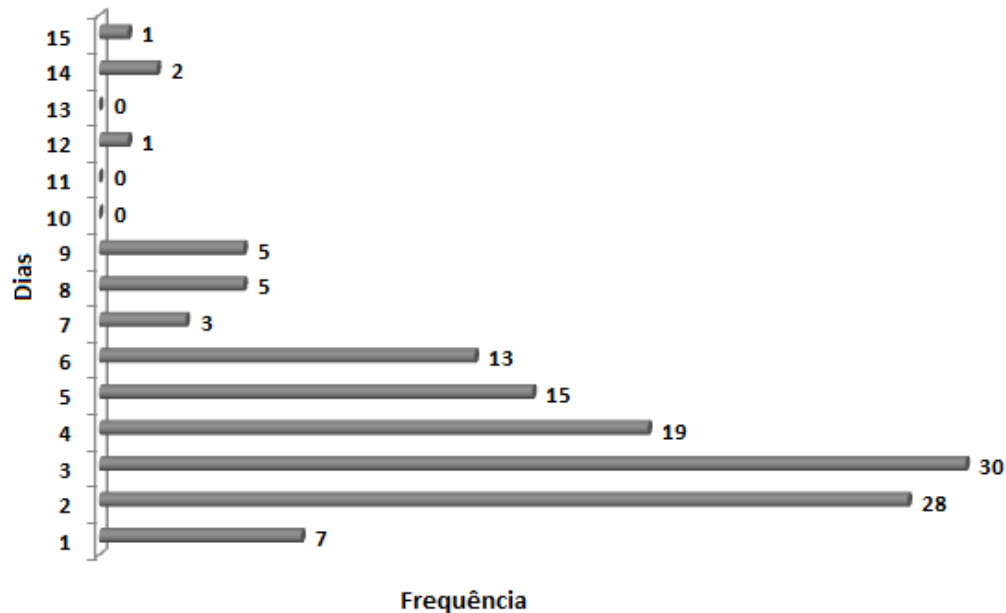


Figura 6.1 Duração dos eventos pluviais intensos nos municípios da Baixada Santista e Litoral Norte.

Elaborado pela autora

para a duração desses eventos foi de 3 dias, sendo que as frequências entre 2 e 6 dias foram as mais observadas. Desta forma, conforme já constatado em investigações anteriores considerando escorregamentos (TATIZANA *et al.*, 1987 a e b), é possível concluir que a ruptura da estabilidade dos sistemas físicos e da sociedade na área de estudo foi provocada, no período estudado, principalmente por eventos pluviais contínuos de duração entre 2 e 6 dias.

Estes eventos de precipitação com potencial para causar impactos na região, com duração e intensidade variada, serão nomeados neste estudo como episódios pluviais impactantes.

Considerando a distribuição espacial e temporal dos episódios pluviais impactantes ao longo do período analisado (Figura 6.2) destacam-se 1999/00 com 20 registros e 1995/96 com 19.

O ano de 1999/00 se sobressaiu pelo número de ocorrências e pela abrangência espacial, quando foram registrados impactos desde o extremo sul da área de estudo (Peruíbe) até o norte da região (Caraguatatuba). Outro ponto que chama atenção é que, neste ano, houve impactos mesmo em municípios com baixa frequência de registros: Peruíbe, Itanhaém e Bertioga. O maior número de ocorrências foi observado em Santos e Guarujá. Não houve ligação entre as escalas dos eventos pluviais impactantes e a anual, pois a maioria dos postos apresentou chuvas abaixo da média neste ano, incluindo os postos do Guarujá; Santos apresentou totais próximos à média; entretanto, neste ano houve mais eventos pluviais intensos em 24h, como observado na análise diária.

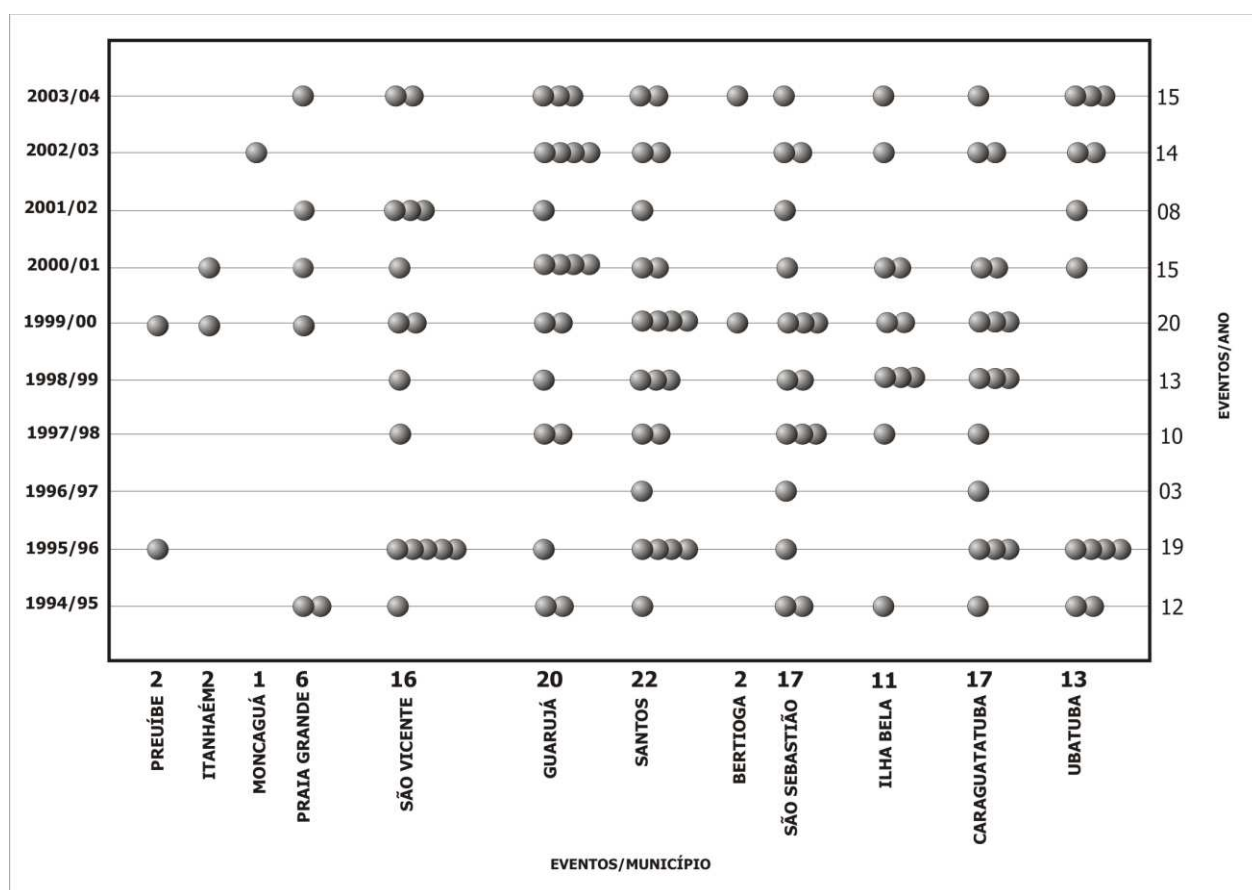


Figura 6.2 Ocorrências de episódios pluviais impactantes por ano e município
Elaborado pela autora

Já 1995/96 foi o ano mais chuvoso no período havendo, então, conexões entre as escalas temporais. O município de São Vicente foi o mais atingido, seguido por Santos e Ubatuba, sendo que mais ao sul, apenas em Peruíbe ocorreram impactos. Estes anos têm a atuação da La Niña

como principal aspecto em comum, em termos de circulação de larga escala tendo havido, também, penetração de sistemas frontais acima da média.

Nos anos de 2000/01 e 2003/04 foram registrados 15 episódios pluviais impactantes. A distribuição das precipitações diárias nestes dois anos foi bastante semelhante, com chuvas diárias atingindo pouco mais de 200,0mm/24h. Não obstante, apresentaram diferentes dinâmicas atmosféricas.

Contrariando as expectativas quanto a um possível aumento de impactos relacionado ao forte El Niño de 1997/98, as ocorrências neste ano foram abaixo da média. Os totais máximos se situaram na classe de 200,0mm a 300,0mm/24h, com maior intensidade por evento, se comparado a 2000/01 e 2003/04.

Em 1996/97 houve a menor frequência de eventos (3), que ocorreram apenas em Santos e em municípios do Litoral Norte, tendo sido um ano marcadamente menos chuvoso, com anomalias negativas em quase todos os postos. O baixo número de impactos (8) em 2001/02 reflete, de certa forma, a dinâmica pluvial anual e diária, quando em toda região as chuvas foram abaixo da média, com anomalias em quase todos os postos e totais diários moderados.

A análise do total de eventos permite observar que Santos e Guarujá apresentaram maior número de ocorrências, e embora os montantes anuais de precipitação não tenham sido os mais elevados na área, são municípios com expressivas taxas populacionais e de elevada densidade demográfica, resultando em intensa ocupação do solo e aumentando a possibilidade de ocupação de áreas de risco. São Vicente, equivalente em termos populacionais, também apresentou números significativos de registros de eventos pluviais impactantes.

São Sebastião e Caraguatatuba destacam-se no Litoral Norte com muitos registros de impactos, seguidos, respectivamente, por Ilhabela e Ubatuba.

Os menores números foram registrados em Mongaguá, Peruíbe, Itanhaém e Bertioga. Praia Grande apresentou ocorrências abaixo da média, apesar da intensa urbanização e densidade populacional, o que pode estar relacionado ao seu relevo menos acidentado que nas áreas mais setentrionais.

Os episódios pluviais impactantes acompanham, grosso modo, a evolução da estação chuvosa no Sudeste. Cerca de 93% dos episódios ocorreram no semestre outubro a março (Figura 6.3), que se caracteriza por ser o mais chuvoso. Em outubro houve incidência significativa de ocorrências em comparação aos meses anteriores, que foram aumentaram

progressivamente em novembro e dezembro, atingindo o pico em janeiro, seguido por março e fevereiro. O trimestre janeiro- fevereiro- março registrou número de fenômenos bastante superior aos demais meses.

No semestre menos chuvoso, de abril a setembro, houve drástica diminuição na frequência de episódios pluviais impactantes. Em junho e abril foram registrados 3, seguidos por julho e setembro, ambos com apenas 1.

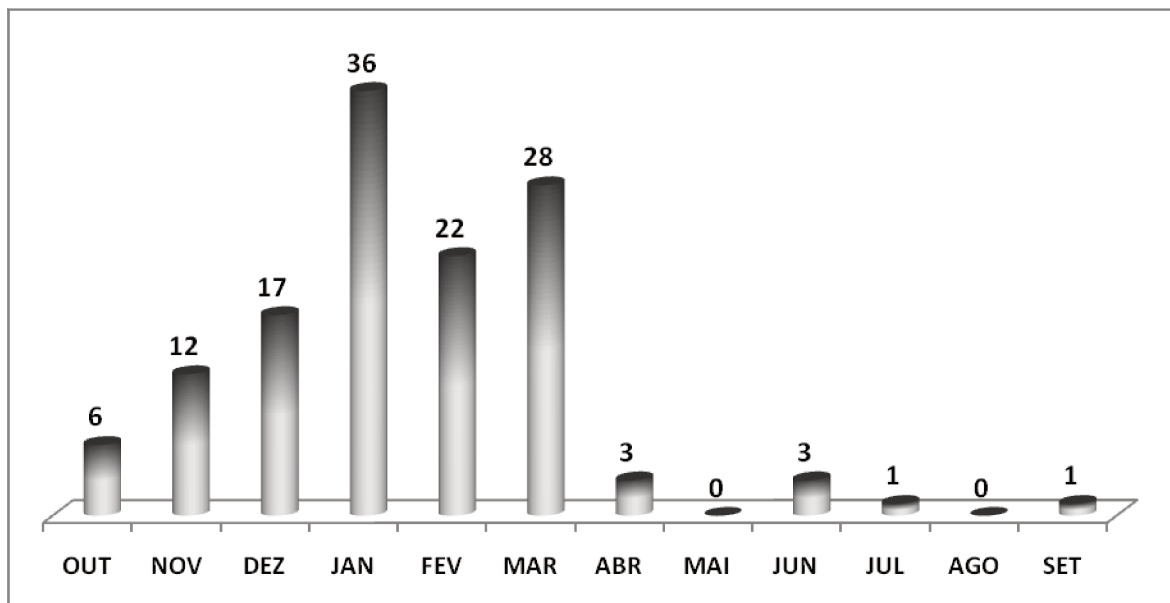


Figura 6.3 Distribuição mensal dos episódios pluviais impactantes
Elaborado pela autora

6.1.1 Episódios pluviais impactantes: distribuição dos montantes

Os episódios pluviais impactantes ocorridos na Baixada Santista e Litoral Norte nos 10 anos analisados apresentaram montantes entre 11,4mm a 568,6mm por episódio (Figura 6.4).

A grande amplitude existente entre as chuvas mínimas e máximas reforça a complexidade que envolve os eventos pluviais que deflagram impactos na área, pois mesmo volumes não excepcionais são passíveis de provocar problemas. Em 25% dos eventos a quantidade total de chuva foi inferior a 80,0mm, e em 75% atingiu 200,0mm, concluindo-se que em 50% dos episódios ocorreram com chuvas entre 80,0mm e 200,0mm, podendo-se inferir que para esse período de 10 anos, esses seriam valores críticos de maior recorrência. Eventos com totais acima de 200,0mm podem, *a priori*, ocasionar danos de maior magnitude, mas eles têm ocorrência menos frequente.

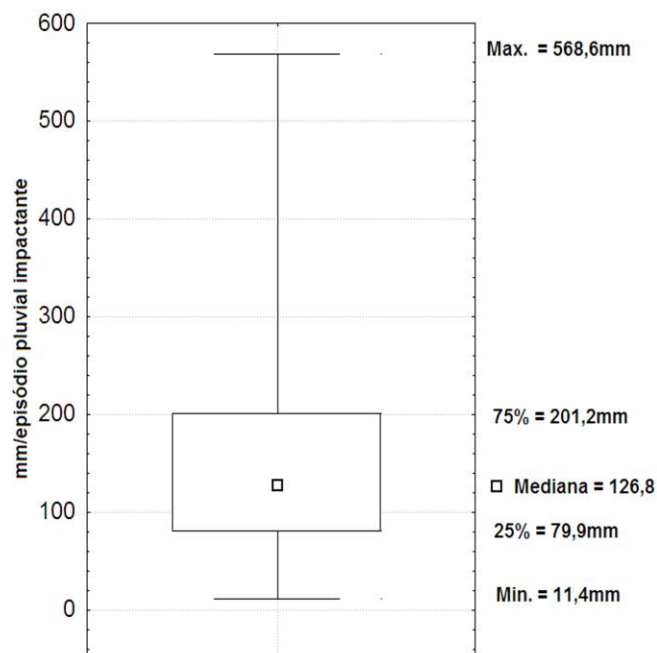
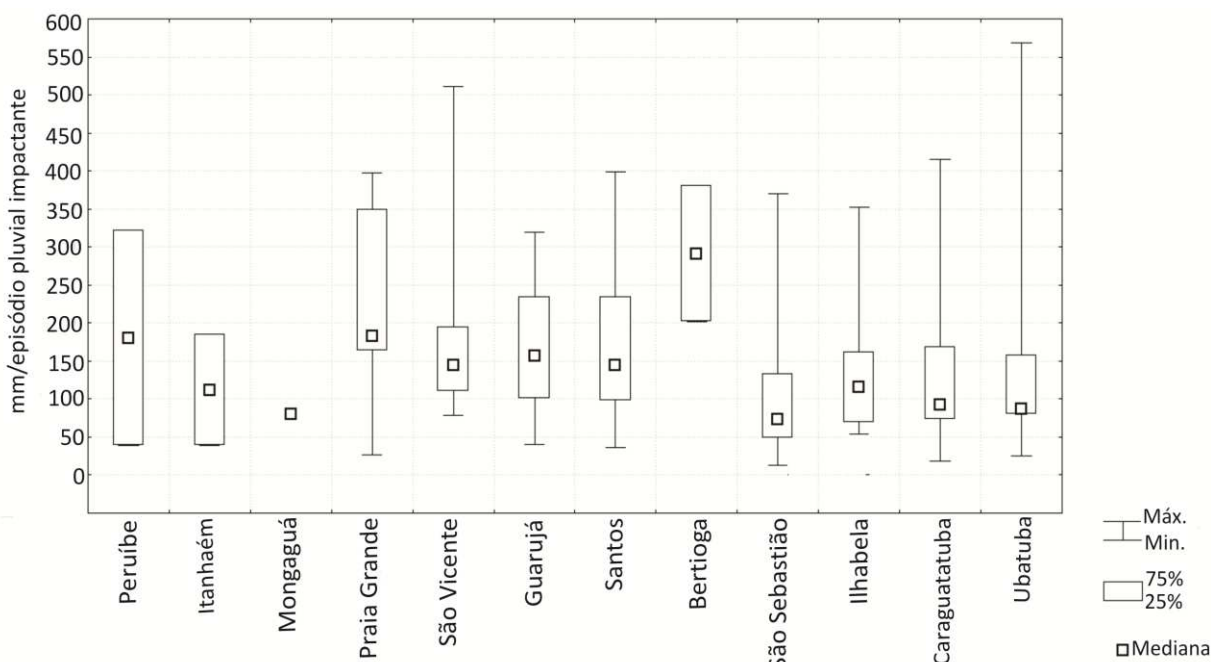


Figura 6.4 Distribuição dos montantes dos episódios pluviais impactantes
Elaborado pela autora

Analisando a distribuição por município (Figura 6.5) observa-se que entre os postos da porção meridional os montantes oscilaram entre 50,0mm e cerca de 300,0mm em Peruíbe, 50,0mm e 200,0mm em Itanhaém, e no único episódio registrado em Mongaguá, as chuvas chegaram a 90,0mm. Na região central, São Vicente registrou um episódio pluvial impactante, com valores excepcionais totalizando pouco mais de 500,0mm/72h. Não obstante, caracterizou-se por ter 50% dos episódios registrados entre 100,0m e 200,0mm. Em Santos e Guarujá, os 50% oscilaram entre 100,0mm e 250,0mm, sendo que no primeiro, houve um evento da ordem de 400,0mm. Destaca-se Bertioga com montantes entre cerca 200,0mm e 350,0mm por episódio, atestando vulnerabilidade apenas a chuvas muito intensas.

Baixos limiares associados à deflagração de eventos nos vários postos do Litoral Norte podem estar associados à posição abrigada dos postos, em especial em São Sebastião e Ilhabela. Entretanto, mesmo MD/Ubatuba apresenta comportamento semelhante aos demais: 75% agrupados em montantes menos significativos, e eventos extremamente mais intensos. É notório o registro de chuvas muito intensas em Caraguatatuba (CRUZ, 1979).



Peruíbe	Itanhaém	Mongaguá	Praia Grande	São Vicente	Guarujá	Santos	Bertioga	São Sebastião	Ilhabela	Caraguatatuba	Ubatuba	N
2	2	1	6	16	20	22	2	17	11	17	13	N
39.5	2	1	27.3	79.1	6.8	36.4	201.2	17.9	57.7	19.0	24.8	Min
321	38.8	80.6	163.7	110.6	101.0	117.7	201.2	71.8	69.0	72.9	79.9	25%
180.5	38.8	80.6	182.6	144.3	156.3	153.8	291.1	73.6	116.3	91.7	87.2	Mediana
321.6	112.0	80.6	349.6	194.5	234.8	234.9	381.1	133.7	161.9	169.5	157.4	75%
321.6	185.3	80.6	397.3	510.6	319.0	399.3	381.1	370.3	352.9	415.3	568.6	Max

Figura 6.5 Distribuição estatística dos montantes dos episódios pluviais impactantes
Elaborado pela autora

Desta forma, é possível observar 3 delimitações em relação aos eventos pluviais impactantes: a zona sudoeste, Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá, com baixo número de ocorrências e quantidades pluviais moderadas; a região central, Praia Grande, São Vicente, Guarujá e Santos, com maior número de ocorrências e totais de moderados a intensos, sendo exceção Bertioga, com altos montantes e pequena frequência de desastres e a porção norte, São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba, com significativo registro de impactos e volumes de elevada amplitude, de baixa a alta intensidade.

Embora a grande maioria dos episódios pluviais impactantes tenha apresentado duração acima de dois dias como marcada característica, buscou-se averiguar se haveria relação entre a chuva total e o pico, entendido como o dia com maior precipitação no episódio (Figura 6.6). O índice de correlação foi bastante significativo entre o montante pluvial impactante e o pico

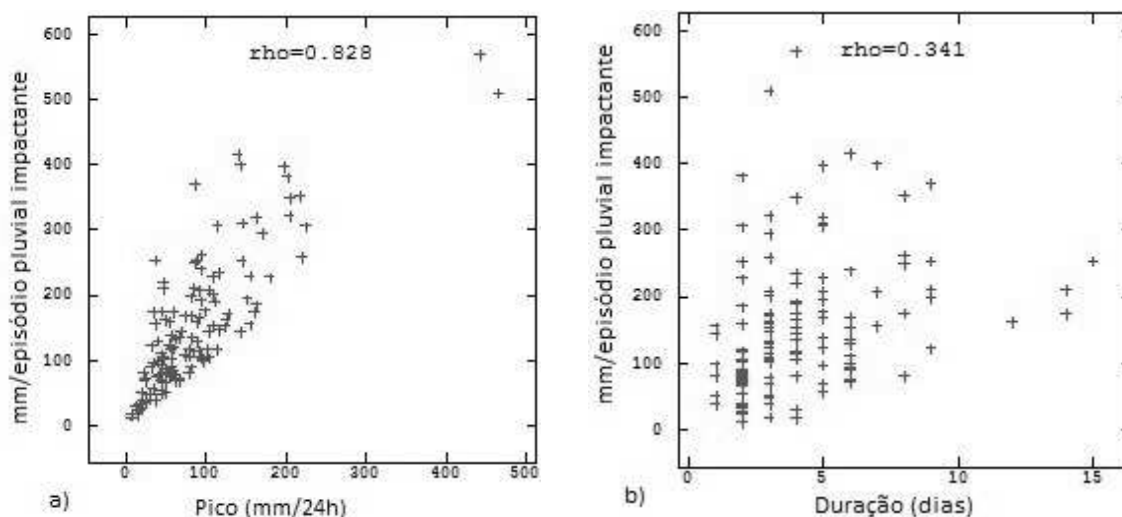


Figura 6.6 Relações entre o montante pluvial impactante e a) o pico, e b) a duração.
Elaborado pela autora

Novamente se destacam os dois fenômenos mais excepcionais, apresentando os maiores picos, muito embora o maior deles não tenha correspondido ao maior volume. Episódios com totais da ordem de 400,0mm tiveram picos de pouco mais de 100,0mm/24h, e outros de menores totais apresentaram picos máximos de mais de 200,0mm/24h. Porém, especialmente nos episódios pluviais impactantes na casa dos 200,0mm, houve forte correlação montante/pico.

A correlação entre montante/duração foi bem menor (Figura 6.6b). Os dois episódios excepcionais tiveram duração de três e quatro dias, evidenciando grande intensidade. Os quatro eventos com duração superior a 10 dias apresentaram quantidades pluviais moderadas, entre 150,0mm e 250,0mm.

Os resultados indicam que embora a componente duração tenha grande participação para deflagração dos impactos, a existência de um dia com pluviosidade elevada teve influência de maior peso. Contudo, esses resultados não expressam a relação entre intensidade da chuva e magnitude do impacto.

Para estabelecer esta relação, será investigada a magnitude do impacto com base na dimensão humana.

6.1.2 Magnitude dos episódios pluviais impactantes

A magnitude dos episódios pluviais impactantes foi aferida a partir do número de pessoas afetadas, considerando este parâmetro como o mais significativo para este estudo.

Devido à dificuldade de conseguir as informações sobre impactos relativos a desastres, em 18% dos episódios não foi possível levantar a quantidade de afetados. Desta forma, as análises serão referentes a 82% dos eventos. O número de vítimas engloba as pessoas que ficaram desabrigadas, desalojadas, sofreram ferimentos ou vieram a falecer em decorrência de registros desencadeados por chuvas intensas, sendo que nos episódios denominados sem vítimas houve danos materiais, transtornos à circulação de pessoas ou veículos, queda de muros e outros prejuízos desta natureza.

A quantidade de atingidos por episódio variou entre 1 a 828 pessoas, podendo-se observar a frequência de vítimas por episódio na Figura (6.7).

Vítimas (pessoas/episódio)	%
sem vítimas	34
até 10	13
de 11 a 20	8
de 21 a 30	5
de 31 a 40	8
de 41 a 50	5
de 51 a 60	2
de 61 a 70	2
de 71 a 80	4
de 81 a 90	0
acima de 100	5
sem informação	18

Figura 6.7 Porcentagem de vítimas nos episódios pluviais impactantes
Elaborado pela autora

Em 34% dos episódios não houve registro de desabrigados, desalojados, mortos ou feridos, apenas impactos sem vítimas.

Todavia, em 13% dos eventos mais de 50 pessoas foram atingidas, sendo que em 5% das ocorrências as vítimas ultrapassaram 100 afetados, número bastante significativo. Os episódios com mais vítimas foram analisados com maior destaque, conforme poderá ser conferido na sequência.

Apesar do volume de chuva por episódio e o número de vítimas pareçam, *a priori*, ser altamente correlacionados, na prática essa relação só é linear a partir de 100 vítimas (Figura 6.8), ou seja: episódios que atingiram entre 0 e 80 pessoas foram deflagrados tanto por chuvas de baixos montantes quanto por totais da ordem de 400,0mm.

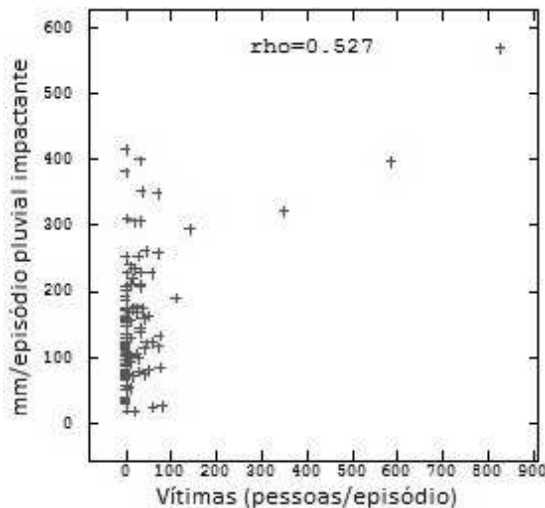


Figura 6.8 Correlação entre o montante do episódio pluvial impactante e número de vítimas
Elaborado pela autora

Foram investigadas a correlação entre o número de vítimas e os sistemas atmosféricos que atuavam no período da deflagração das ocorrências. Não houve correlação entre o número de vítimas e ZCAS, havendo padrão semelhante com a presença ou ausência do fenômeno.

Apenas um evento não esteve associado nem ao avanço de sistemas frontais nem à ocorrência de ZCAS (Figura 6.9a), tendo sido um ano de atuação de La Niña; nessa ocasião houve quase 600 afetados. Nos demais, houve presença de sistemas frontais, sendo que dois com grande número de pessoas atingidas relacionaram-se com sistemas frontais estacionários.

A La Niña atuava na ocasião em que aconteceram chuvas com elevada quantidade de vítimas, sendo que em anos de neutralidade houve relato de poucas vítimas. Sob a influência do El Niño, os episódios apresentaram baixo número de lesados.

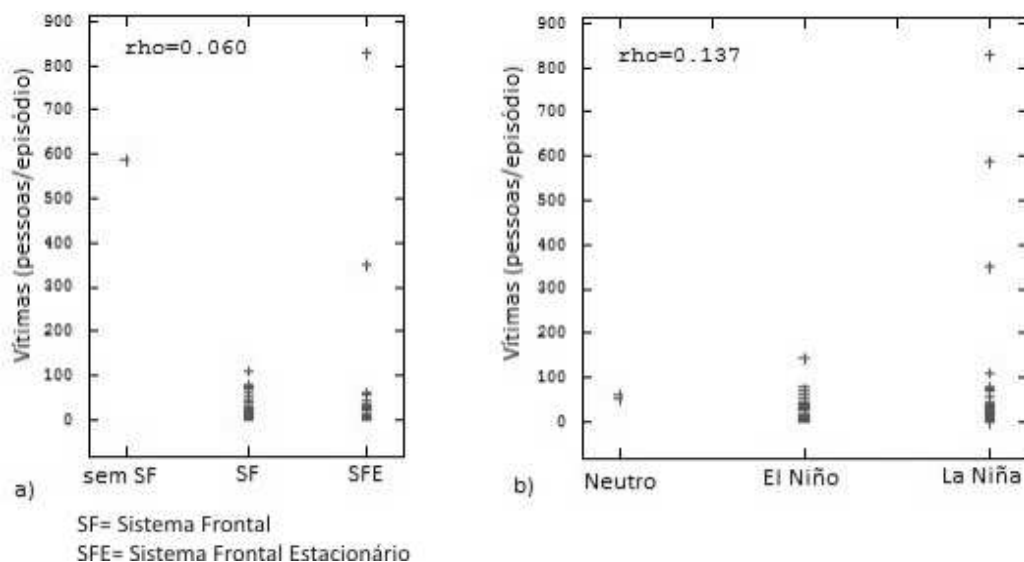


Figura 6.9 Correlação entre o número de vítimas e a) avanço de sistemas frontais e b) condições de ENOS

Elaborado pela autora

A distribuição do número de vítimas por município pode ser observada na Figura 6.10. No entanto, em virtude da falta de informação para algumas ocorrências, esta análise deve ser interpretada com precauções, considerando o maior detalhamento no momento em que a informação é levada ao nível dos municípios. Para auxiliar a interpretação, foram calculadas as porcentagens de eventos com número de vítimas faltantes, permitindo a elaboração de uma legenda que notifica o grau de confiabilidade para interpretação. Alta confiabilidade foi atribuída aos locais sem ausência de informação ou com até 2 eventos sem informação, sendo que a ausência de dados na classe de 10% a 20% foi considerada confiabilidade moderada, e entre 20% e 40% confiabilidade baixa, significando que haveria probabilidade do número de vítimas ser maior nestes municípios, caso os dados estivessem disponíveis. A probabilidade do número de vítimas ser maior é inversamente proporcional ao grau de confiabilidade, pois quanto menor a confiabilidade para interpretação, maior pode ser a soma faltante.

Ubatuba apresentou o maior número de vítimas entre todas as cidades, em virtude principalmente, do evento com montante extremo e com mais de 800 pessoas atingidas.

Embora em Praia Grande tenha ocorrido apenas 6 episódios pluviais impactantes nos 10 anos analisados, despontou como segundo município em número de vítimas, considerando ainda a probabilidade da quantidade estar subestimada em virtude da confiabilidade moderada. Em Peruíbe a dinâmica foi semelhante, pois mesmo com poucas ocorrências, o número de vítimas foi significativo.

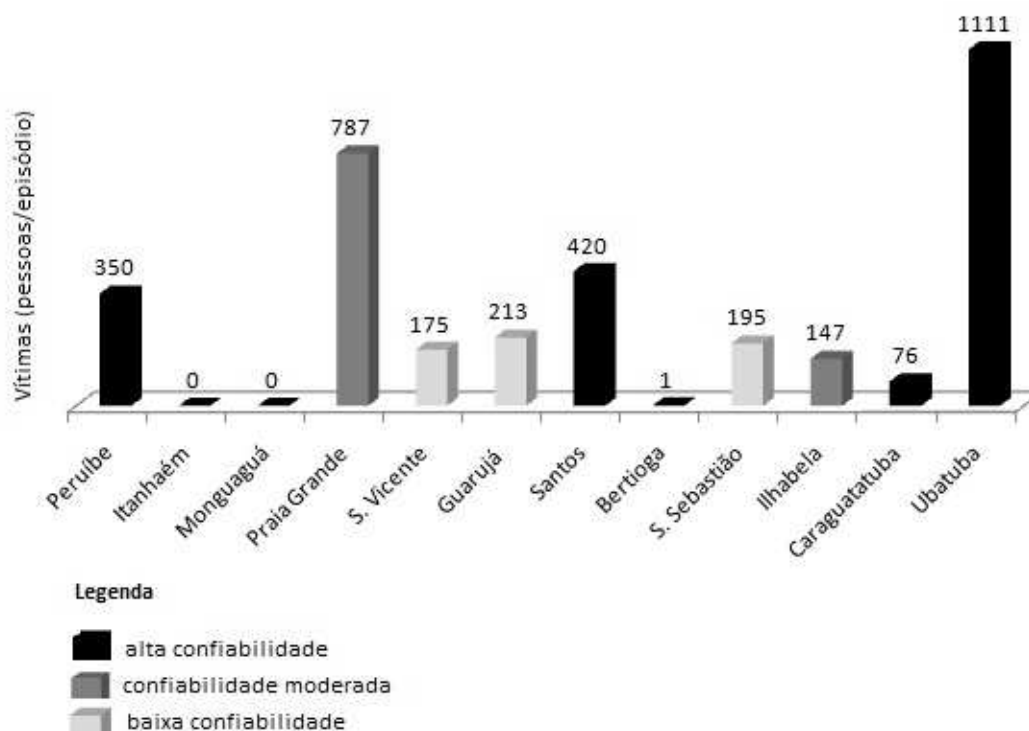


Figura 6.10 Distribuição do número de vítimas por município considerando o grau de confiabilidade.
Elaborado pela autora

O inverso ocorreu em Santos, que havia registrado a maior frequência de episódios pluviais impactantes entre os municípios, mas que não refletiu proporcionalidade na quantidade de vítimas, bastante inferior à Ubatuba e Praia Grande.

A baixa confiabilidade em relação aos dados de São Vicente e Guarujá limita as análises para esses dois municípios, com altas taxas populacionais e significativo contingente exposto ao risco.

Apesar de Caraguatatuba ter sido palco de uma catástrofe memorável em março de 1967 (CRUZ, 1974), no período estudado não apresentou número expressivo de vítimas.

É possível constatar que embora a região tenha apresentado, ao longo do período, elevado número de vítimas associadas aos episódios pluviais impactantes, destacam-se principalmente, eventos nos quais o número de vítimas chegou à ordem de centenas.

A Figura 6.11 apresenta os episódios com número de vítimas superior a 100 pessoas e as informações associadas.

Município	Data	Total	Duração	Pico	ENOS	SF	ZCAS	Vítimas	Impactos
Ubatuba	13.02.1996	568.6	4	442.7	LN	SFE	ZCAS	828	Alagamentos e escorregamentos
Praia Grande	13.01.2001	397.3	5	198.0	LN	X	X	587	Alagamentos
Peruíbe	04.02.1996	321.6	3	204.5	LN	SFE	ZCAS	350	Alagamentos
São Vicente	12.03.1995	295.6	3	170.4	EM	Si	Si	143	Alagamentos e escorregamentos
Santos	19.12.200	190.8	4	111.3	LN	SF	ZCAS	111	Alagamentos e escorregamentos

LEGENDA

LN= La Niña
 EN= El Niño
 SF=Sistema Frontal
 ENOS= El Niño Oscilação Sul
 SFE= Sistema Frontal Estacionário
 ZCAS= Zona de Convergência do Atlântico Sul
 si= sem informação
 X= sem ocorrência

Figura 6.11 Relação dos episódios pluviais impactantes que deixaram mais de 100 vítimas
 Elaborado pela autora

Foram registrados 5 eventos em que a quantidade de vitimados oscilou entre 828 em Ubatuba e 111 em Santos¹⁸. Observa-se que o mais elevado número de vítimas ocorreu em Ubatuba, resultante do total mais elevado da série, com a marca de 828 pessoas atingidas. Em Praia Grande houve também a expressiva quantidade de 587 vitimados. Embora em Peruíbe tenha sido relatada pequena frequência de impactos, este município comparece com 350 afetados. São Vicente e Santos tiveram, respectivamente, 143 e 111 vítimas.

Nesta seleção a classificação das vítimas acompanhou a de montantes, ou seja: quanto maior o total de chuva por episódio, maior o número de vítimas. Em todos os eventos a chuva total foi superior a 200,0mm, com picos superiores a 100,0mm, atestando que esses episódio estiveram ligados a chuvas marcadamente intensas. Chama a atenção que qualquer dos eventos

¹⁸ Não foi possível obter informações sobre o episódio com segundo maior montante, ocorrido em São Vicente.

não tenha sido excepcional em termos de duração, que tiveram 3, 4 e 5 dias, e mesmo o dia com maior quantidade de chuva e vítimas não foi o de duração mais longa, reforçando a informação entre a baixa correlação entre a magnitude do impacto/montante pluvial e duração.

Em termos de sistemas atmosféricos relacionados, em 4 das 5 ocorrências havia influência da La Niña, sendo exceção março de 1995, período em o El Niño atuava. Em 3 eventos, houve a relação com sistemas frontais.

Um dos principais pontos em comum entre esses eventos mais impactantes, foi que todos registraram alagamentos e em 3 houve escorregamentos, podendo-se supor que o alagamento é o impacto que causou o maior número de vítimas na área de estudo neste período. Nota-se, também, que os municípios que apresentaram apenas alagamentos foram Praia Grande e Peruíbe, locais com baixa altitude e pequena declividade média.

Capítulo 7

Cenários dos episódios pluviais impactantes e incertezas

Metodologias que incorporem incertezas em pesquisas na espacialização das precipitações intensas que causam impactos são úteis como auxílio na tomada de decisão. Alguns métodos de interpolação utilizados não realizam as estimativas da incerteza envolvida no mapeamento, sendo que a krigagem tem como uma de suas possibilidades, fornecer medidas de desvio padrão que permitem visualizar as áreas com menor confiabilidade para interpretação dos dados estimados em virtude de sua distância em relação ao ponto amostrado. Porém, a krigagem busca diminuir a variância, o que gera mapas suavizados, que não refletem uma possível variabilidade nos pontos não amostrados. Já a simulação estocástica permite visualizar diversos cenários possíveis para o mesmo fenômeno, e computar a incerteza existente para os diversos pontos não amostrados.

Mediante estas considerações, neste capítulo foi realizado um estudo de incerteza espacial nos eventos pluviais extremos ocorridos em 12 municípios na região da Baixada Santista e Litoral Norte Paulista no período de 1994/95 a 2003/2004.

Foi utilizada a Simulação Estocástica para elaboração de cenários equiprováveis dos dias de precipitação que resultaram em impacto nos municípios da região, com objetivo de verificar setores com maior probabilidade de serem atingidos por chuvas intensas neste recorte, e apontar áreas de incerteza para interpretação dos resultados, sendo a incerteza considerada principalmente a partir da variabilidade. Foram também incorporadas variáveis fisicamente correlacionadas com os padrões de distribuição pluvial: altimetria, declividade e exposição de vertentes.

7.1. ANÁLISE ESTRUTURAL DA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

O conjunto de dados utilizado nesta etapa é composto pelas chuvas em 24h registradas nos dias que fizeram parte de cada episódio pluvial impactante, considerando desde o dia inicial com chuvas ininterruptas até a data de ocorrência do impacto.

O gráfico traz a distribuição estatística dos totais de mm/24h ocorridos nos 321 dias que compuseram os episódios pluviais impactantes (Figura 7.1). As chuvas que deflagraram danos se caracterizaram por apresentar valores com significativa dispersão, variando de 0,0 ao máximo de 465,3 mm/24h o que reflete a intensidade da chuva diária que pode ser alcançada na região litorânea paulista, comparada a outros locais do Brasil.

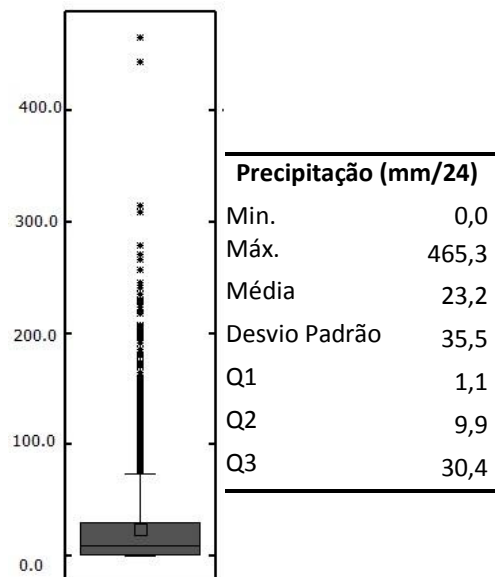


Figura 7.1 Estatística exploratória dos eventos pluviais impactantes

Houve grande concentração dos totais diários nas classes até por volta de 31,0mm/24h, sendo que esta concentração reflete a estrutura de grande parte dos episódios, composta por chuvas contínuas com um pico mais intenso, e expressa, também, a marcada variabilidade espacial diária, pois dependendo da gênese pluvial e da configuração dos sistemas atmosféricos alguns setores registraram altos volumes, enquanto outros, totais inexpressivos. Entretanto, pode-se observar a excepcionalidade de alguns dias chuvosos pela notória frequência de chuvas intensas até a classe de 300,0mm/24h, e dos dois mais extremos acima de 400,0mm/24h.

É possível observar os valores mais extremos, determinados estatisticamente como sendo aqueles dias com chuvas acima de 31,0mm/24h, ou seja, dias que apresentaram montantes mais elevados que os 75% dos valores mais frequentes.

A distribuição espacial da precipitação pode ser observada na Figura 7.2 que traz um gráfico espaço-temporal dos montantes em 24h nos dias que fizeram parte dos episódios pluviais

impactantes. Na base da figura está representado o recorte da área de estudo, e cada coluna representado um posto, onde os valores da precipitação diária estão classificados por cores e dimensão das esferas.

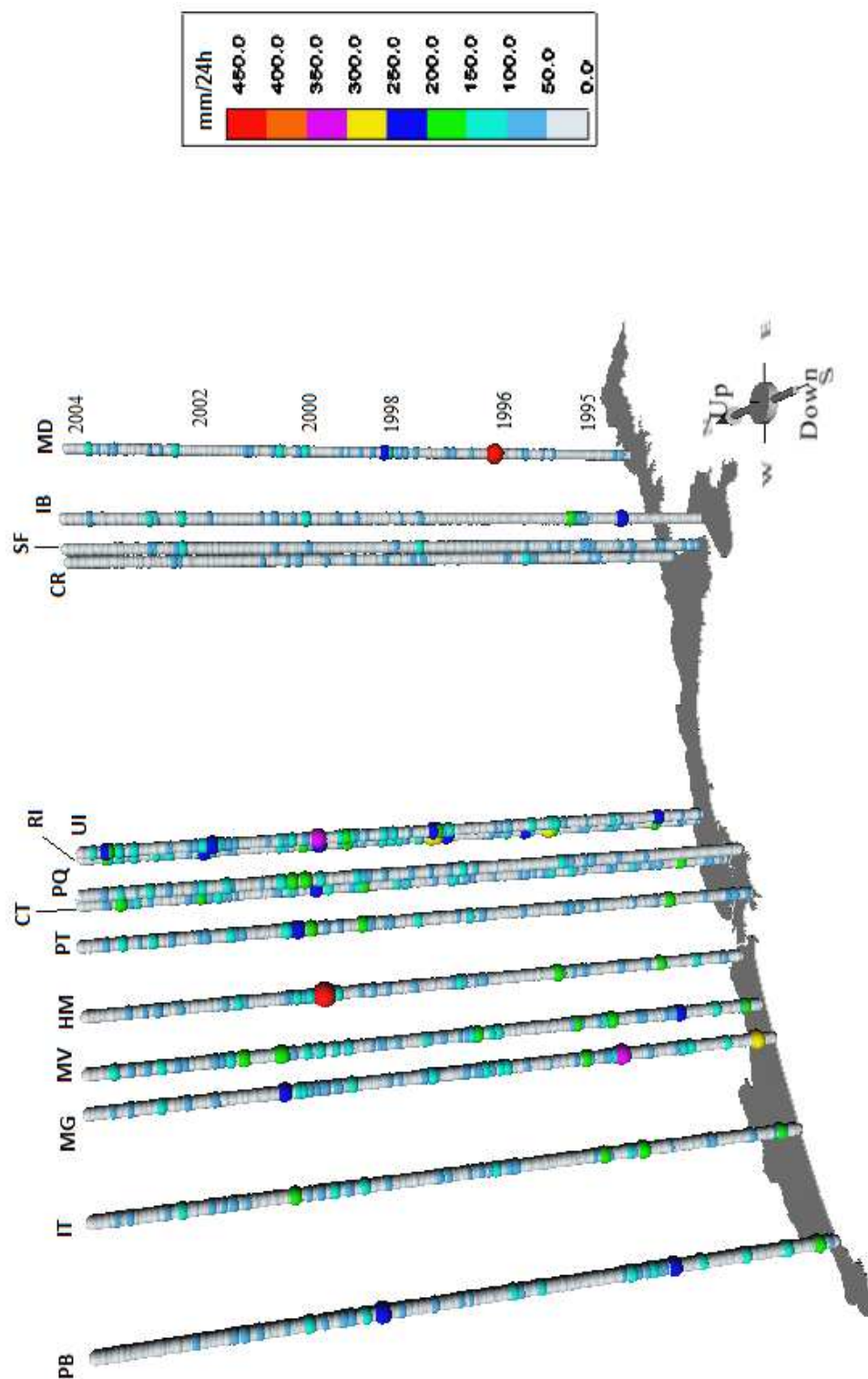


Figura 7.2. Distribuição espacial e temporal da precipitação dos dias que compuseram os episódios pluviiais impactantes. Anos indicados apenas para referência.

A classe até 50,0mm/24h foi a mais frequente em todos os locais. Os postos do Litoral Norte apresentaram os dias com volumes menos expressivos, destacando-se CR/Caraguatatuba e SF/São Sebastião com apenas três classes, chegando até 150,0mm/24h. Embora MD/Ubatuba tenha mostrado comportamento semelhante, apresentou um evento excepcional acima de 400,0mm/24h, que resultou em mais de 800 vítimas entre mortos, feridos, desabrigados e desalojados.

Na Baixada Santista, houve maior incidência de chuvas acima de 150,0mm/24h em comparação ao Litoral Norte, sendo que todos os postos registraram eventos na classe de 150,0 a 200,0mm/24h. Em apenas 3 dos 10 postos desta área (IT/Itanhaém, HM/São Vicente e PQ/Guarujá) não foram observadas chuvas entre 200,0 e 250,0mm/24h. Os montantes mais elevados apresentaram ocorrências mais raras: dos 4 episódios entre 250,0 e 300,0mm/24h, 3 foram em RI/Bertioga (em 15/02/1996; 12/02/1998 e 12/03/1998) e o outro, em MG/Monguaguá (em 03/02/1995); 2 eventos de 300,0 a 350,0mm/24h em MG/Monguaguá (03/02/1996) e UI/Bertioga (17/02/2000); e o mais excepcionais da série ocorreu em HM/São Vicente (465,3mm/24 em 29/03/2000) e em Ubatuba (442,7mm/24h em 13/02/1996).

Em termos de regularidade, destacam-se RI/Bertioga e UI/Bertioga como os locais que apresentaram os dias mais chuvosos nos episódios pluviais impactantes durante os 10 anos analisados, o que pode estar associada à localização dos dois postos em altitudes mais elevadas que os demais, aventando-se a influência do efeito orográfico representado pelas maiores altitudes.

Considerando a proposta de abordagem nas dimensões espacial e temporal, procedeu-se à investigação da correlação temporal, ou seja, se um dia tem relação com o posterior, e da possibilidade de se realizar a simulação em 3 dimensões (latitude, longitude e tempo). Essa relação foi analisada a partir do variograma, que permite observar a continuidade temporal.

Foram elaborados variogramas para os 14 postos da área de estudo (Figura 7.3). No eixo X estão representados os dias, e no eixo Y está plotada a variância, ou seja, o quanto um dia varia em relação ao outro. Caso houvesse correlação entre a chuva do dia anterior e do seguinte, a variância teria os valores iniciais baixos, aumentando progressivamente (ou seja, os valores do eixo Y começariam baixos, se elevando à medida que houvesse avanço dos dias). Porém, o que se observa é que em todos os postos foram observadas altas variâncias a curtas distâncias, se

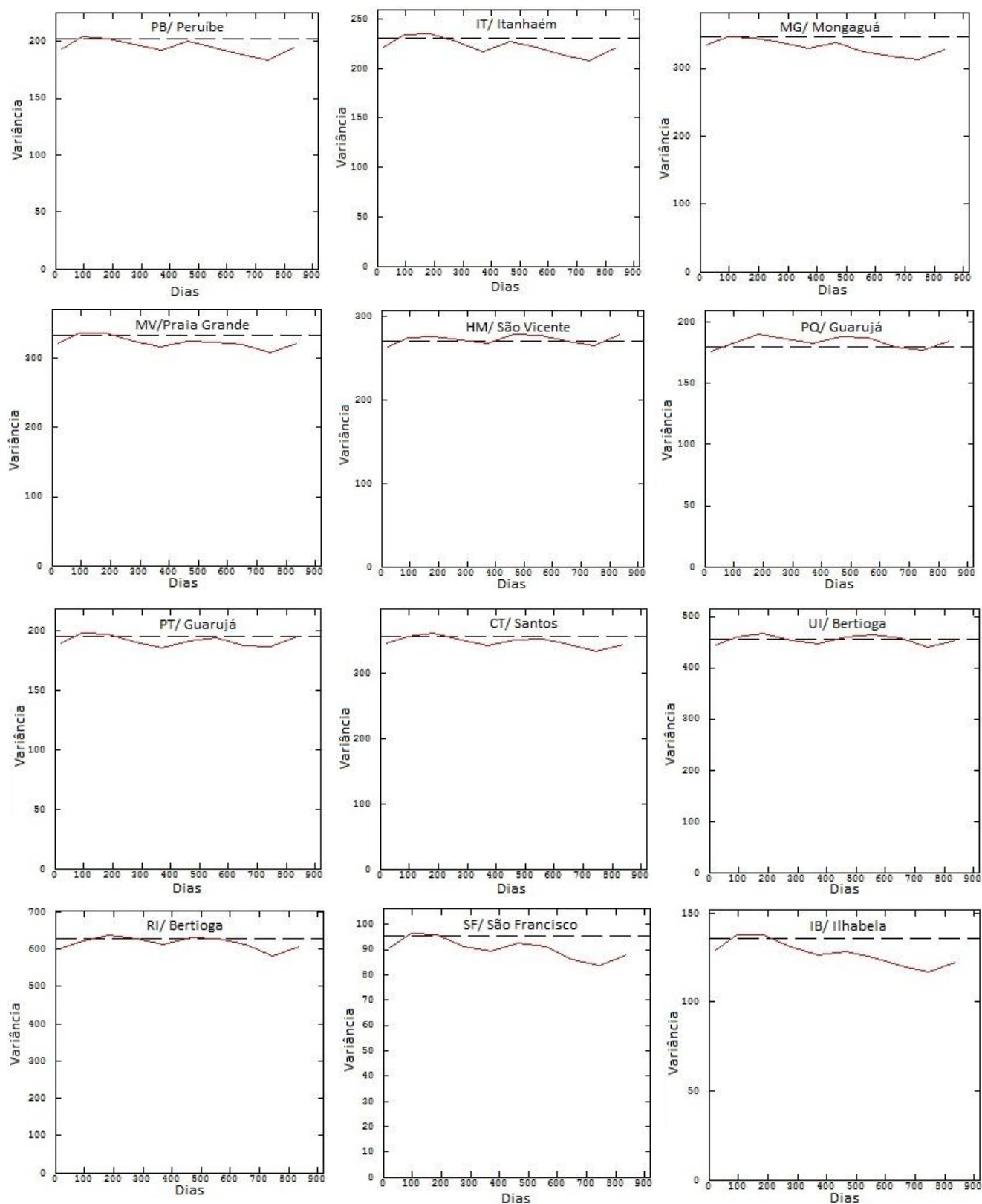


Figura 7.3 Variância temporal da precipitação diária

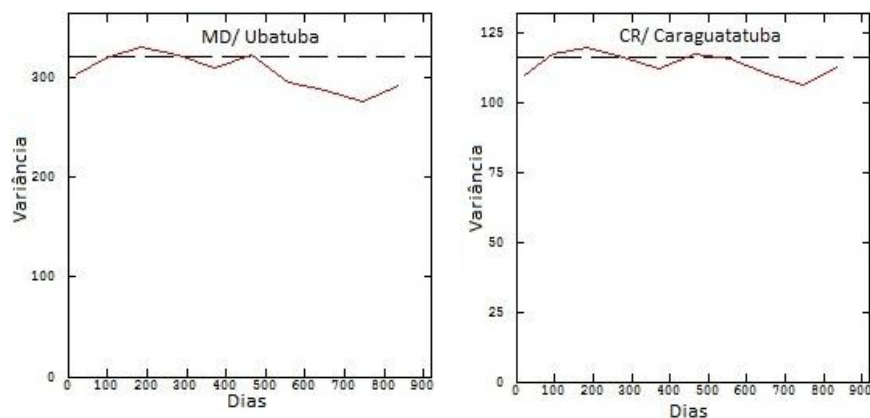


Figura 7.3 Variância temporal da precipitação diária

iniciando próximo ao patamar (linha pontilhada, que indica onde cessa a correlação), ou seja, os dias próximos não possuem relação, e, portanto, um dia é mal preditor dos dias subsequentes, o que sublinha a não efetividade da simulação no vetor temporal. Esta característica era esperada, em virtude das características já conhecidas da precipitação diária.

Desta forma, foi iniciada a simulação apenas na dimensão espacial, pois os dados apresentaram correlação nesta escala. O primeiro passo para a simulação estocástica foi realizar a anamorfose dos dados originais para gaussianos, ou seja, dimensionar os dados em torno da média. Os valores da variável gaussiana se situaram entre -3.6 a 3.6, com média 0,0 e variância 1,0 indicando uma distribuição adequada dos dados transformados (Figura 7.4).

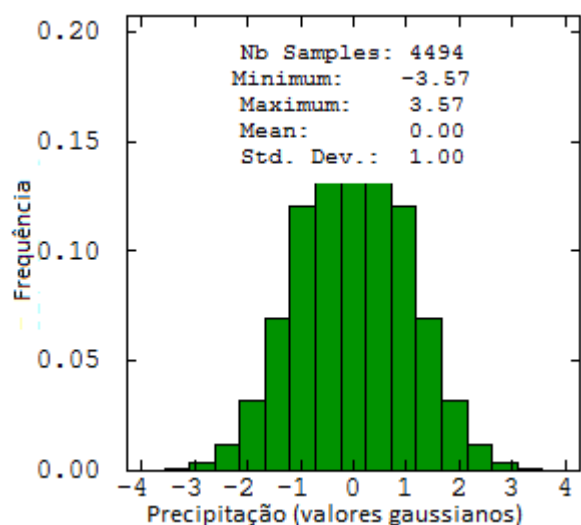


Figura 7.4 Histograma dos valores de precipitação transformados em gaussianos

Houve necessidade de desagrupar dois postos: RI/Bertioga e UI/Bertioga que formam um agrupamento. Este procedimento se faz necessário porque amostras coletadas em distâncias muito próximas e com valores parecidos podem influenciar muito a modelagem geral, tornando-a tendenciosa (DEUTSCH, 1997; CORNETTI, 2003). As estatísticas comparativas entre os dados originais, gaussianos e gaussianos desagrupados são exibidas no Anexo F.

A seguir, foi analisado o nível de correlação espacial que pode ser observado na Figura 7.5b. No eixo X é representada a distância em km, e no eixo Y a variância, os números na linha mostram o número de pares de dados em cada ponto. Pode-se observar que a variância cresce à medida que aumenta a distância (linha verde), se estabilizando por volta dos 40km, ou seja, a partir desta distância diminui a correlação espacial.

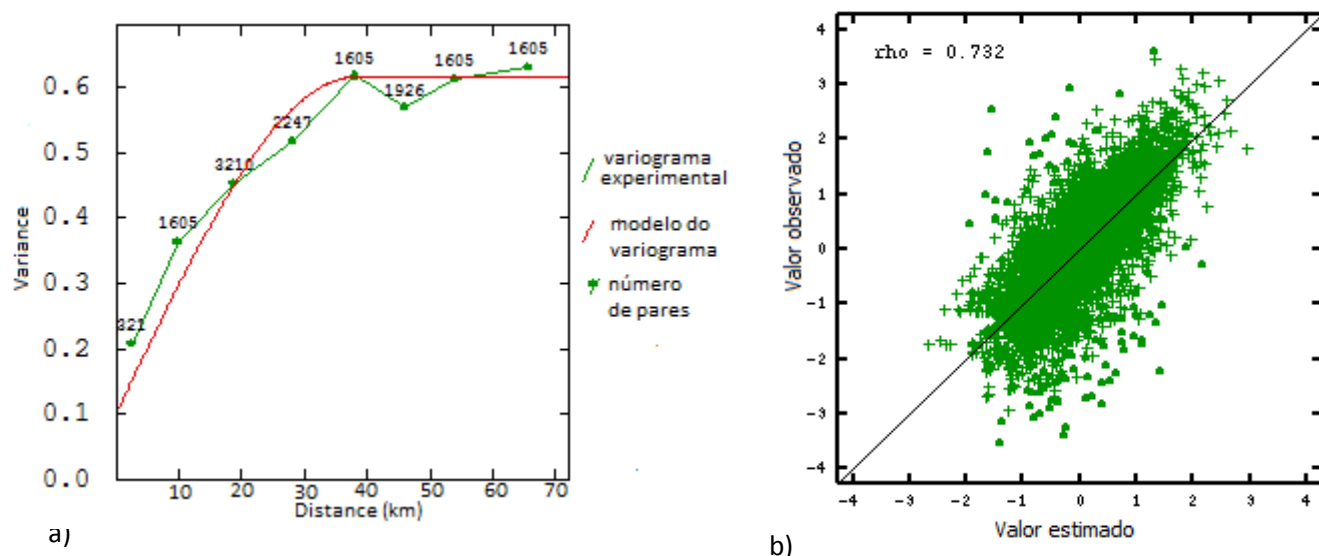


Figura 7.5 a) Variograma experimental e modelo do variograma ajustado, b) validação cruzada do ajuste de modelo do variograma.

Foram realizados testes para avaliar o modelo que melhor representasse os dados de precipitação dos eventos impactantes, sendo utilizada a validação cruzada para aferir os resultados (Figura 7.5b). Os modelos linear, gaussiano e esférico que, conceitualmente, se aplicam ao fenômeno estudado (para maiores detalhes ver GOOVAERTS 1997 e 2000), foram testados. O modelo esférico apresentou correlação acima de 73%, avaliada como satisfatória, principalmente considerando a escassez da cobertura espacial de dados. Após a verificação da

validação cruzada, os modelos também foram testados e avaliados quanto à representação adequada do fenômeno, e apenas após esse procedimento foi realizada a seleção do modelo esférico (Figura 7.5a, linha vermelha). Os parâmetros do modelo utilizado podem ser encontrados no Anexo

A grade utilizada para a estimativa dos dados foi elaborada com células de 1.000 x 1.000m, considerando a distância mínima entre os postos e, conseqüentemente, distância mínima na qual há informações disponíveis a serem estimadas, que definiram a dimensão viável de resolução espacial com base nos dados de precipitação. Essa distância seria de aproximadamente 3.000m; contudo, a intenção de agregar informações secundárias permitiu o *downscaling* para 1.000m, pois as informações utilizadas para obtenção dos valores altimétricos e de declividade estavam em resolução espacial de 30m, sendo possível um *upsampling* para 1.000m.

7.2 ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS ESPACIAIS

Após a seleção do modelo matemático que capturasse as características espaciais dos pontos amostrados, procedeu-se à aplicação do modelo de Simulação Sequencial Gaussiana para a elaboração dos cenários espaciais.

Foram feitas 100 simulações de cada um dos dias que compuseram os episódios pluviais impactantes, sendo que cada um dos cenários gerados é denominado “realização”. Assim, foram obtidas 100 realizações para cada um dos 321 dias que compuseram os episódios pluviais impactantes, totalizando 32.100 realizações.

A simulação condicional deve reproduzir o histograma aproximado e desagrupado dos dados originais (GOOVAERTS, 1997; REMACRE, 2005; CORNETTI, 2010), e para aferir a qualidade dos resultados, procedeu-se a análise dos histogramas dos dados originais e dos dados obtidos por meio da simulação.

Foram comparados os histogramas dos dados krigados da precipitação (7.6a), dos dados originais da precipitação (Figura 7.6b), dos dados simulados da precipitação (Figura 7.6c), dos dados simulados da precipitação usando como deriva externa: a altimetria (Figura 7.6d), a declividade (Figura 7.6e) e a exposição de vertentes (Figura 7.6f).

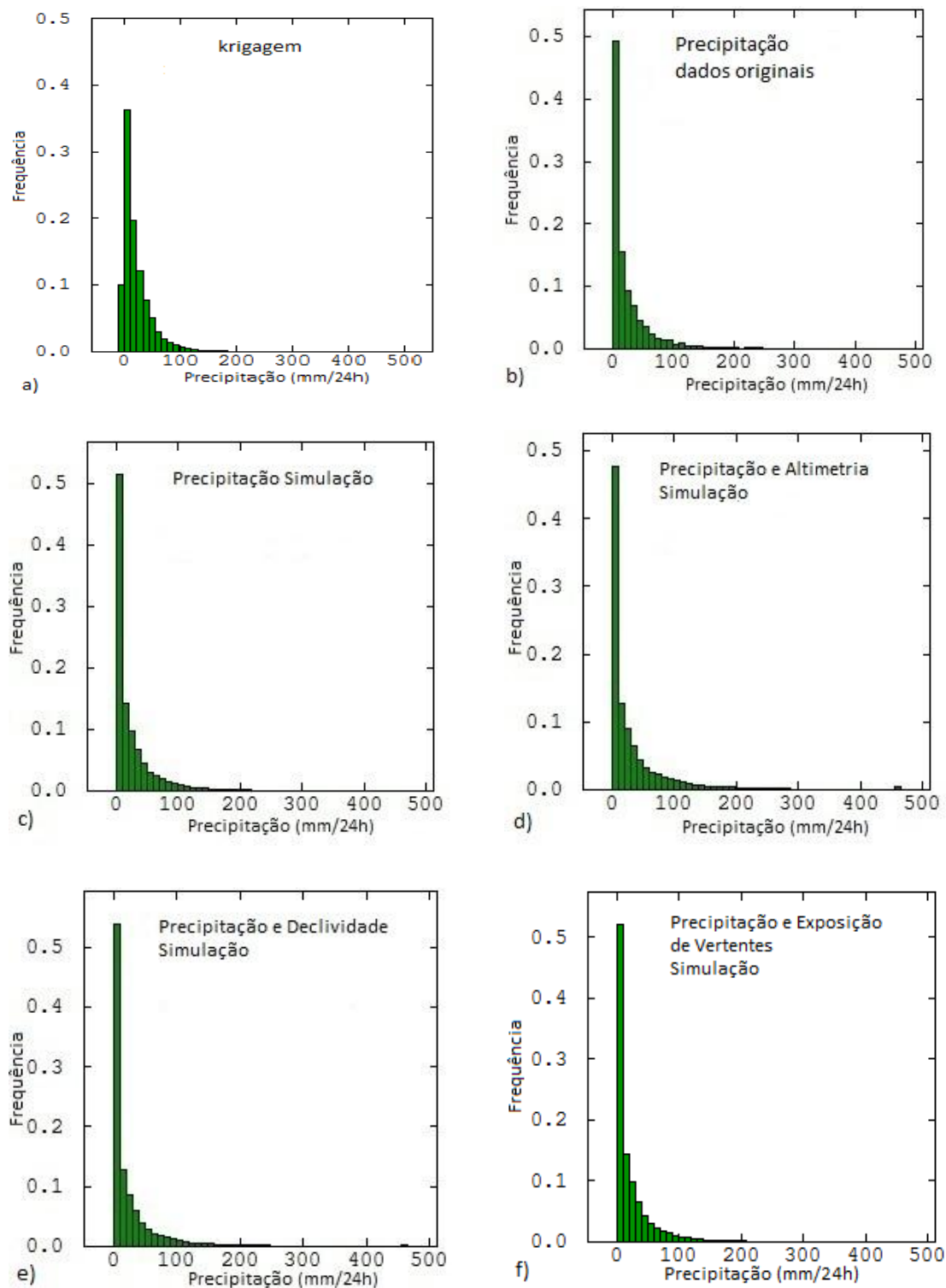


Figura 7.6 Histogramas de a) dados krigados; b) dados de precipitação originais; c) dados de precipitação simulados; d) dados simulados com deriva externa da altimetria; e) dados simulados com deriva externa da declividade e f) dados simulados com exposição de vertentes.

Constata-se que as simulações apresentaram resultados satisfatórios quanto à reprodução do histograma dos dados originais. Os valores máximos e mínimos foram preservados, indicando que houve condicionamento aos pontos amostrados, ou seja: que os valores originais que correspondem à realidade conhecida do fenômeno naquele local foram honrados e parametrizaram as estimativas. Fica evidente a diferença entre a krigagem e a simulação, pois enquanto as simulações reproduziram o histograma dos dados originais, a krigagem apresentou valores da classe mais frequente um pouco mais deslocados em direção à média, gerando uma interpolação mais suavizada.

Em virtude do grande número de mapas gerados foi selecionado o dia 13/02/1996 para ilustrar as diferenças entre os cenários equiprováveis, sem e com inserção de deriva externa das variáveis secundárias altimetria e declividade. As Figuras 7.8, 7.9 e 7.10 trazem as realizações de números 5, 55 e 85.

O dia escolhido se caracterizou por registrar montantes excepcionais de pluviosidade, que trouxe consequências calamitosas para a população local, com grande número de desabrigados. Em 13/02/1996 foram registradas chuvas intensas em quase toda a área, com total de 442,0mm/24h registrado em Ubatuba, e ao episódio pluvial impactante do qual este dia é o pico, foram associadas 828 vítimas.

Na Figura 7.7 é possível observar o resultado da krigagem para os dias 13/02/1996. A questão da suavização heterogênea resultante do modelo (GOOVAERTS, 1997) fica bastante evidente na região entre Bertioiga e São Sebastião, onde a grande distância entre os postos criou uma área homogênea, que contrasta com o setor entre Santos e Praia Grande, local onde a densidade de amostras dá a impressão de maior heterogeneidade espacial. Desta forma, não é possível afirmar até que ponto a variabilidade demonstrada é resultante apenas da distribuição do fenômeno no espaço e/ou de sua interação com as características da superfície, e onde reflete a distribuição irregular dos pontos de coleta.

A diferença entre a krigagem e a simulação fica clara comparando-se as Figuras 7.7 e 7.8. A interpolação por krigagem forneceu um cenário suavizado, acurado e com valores subestimados do fenômeno; já a simulação gerou 100 cenários com a mesma probabilidade de ocorrência, bastante diversos entre si, decorrente da grande incerteza associada à baixa cobertura de postos e complexidade do fenômeno/área. Ao contrário da krigagem, a simulação captou a variabilidade da distribuição espacial da precipitação.

Nos cenários obtidos considerando apenas a precipitação (Figura 7.8) é possível observar dois setores com grande variação: entre Ubatuba e São Vicente, e no extremo norte da área. No primeiro caso, os cenários 5 e 55 geraram áreas de menores valores, e o 85 de chuvas mais intensas. No segundo, os cenários 5 e 85 apresentaram precipitações mais elevadas, contrastando com os baixos totais do 55.

Utilizando a altimetria como deriva externa (Figura 7.9), observa-se que houve acentuado aumento de áreas com pluviosidade elevada. O cenário 85, em especial, mostrou incremento significativo na linha da escarpa, considerando a correlação entre elevadas altitudes e chuvas intensas para as condições deste dia.

A deriva externa da declividade (7.10) criou cenários mais conservadores em termos de totais pluviométricos do que a altimetria, fato que pode ser explicado pela ausência de postos em terrenos inclinados, pois estes se encontram em terrenos planos.

Os cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva da exposição de vertentes (7.11) incrementaram áreas de precipitação intensa na região de Ubatuba, e no cenário 85 houve grande intensificação na área entre Bertioga e São Sebastião.

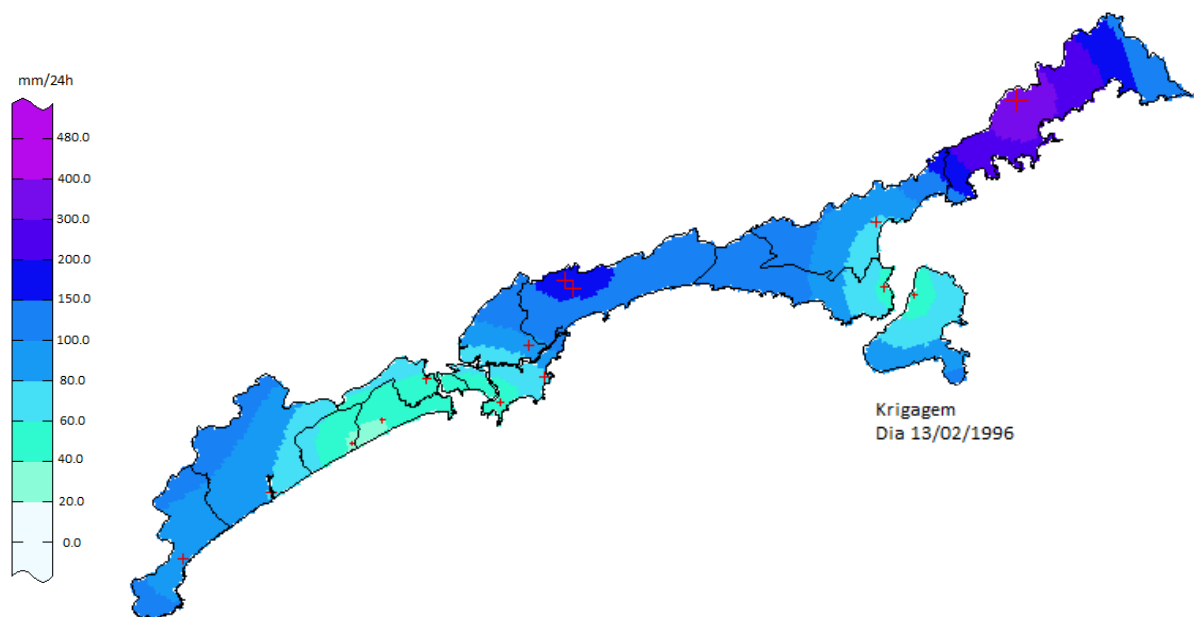


Figura 7.7 Krigagem da precipitação

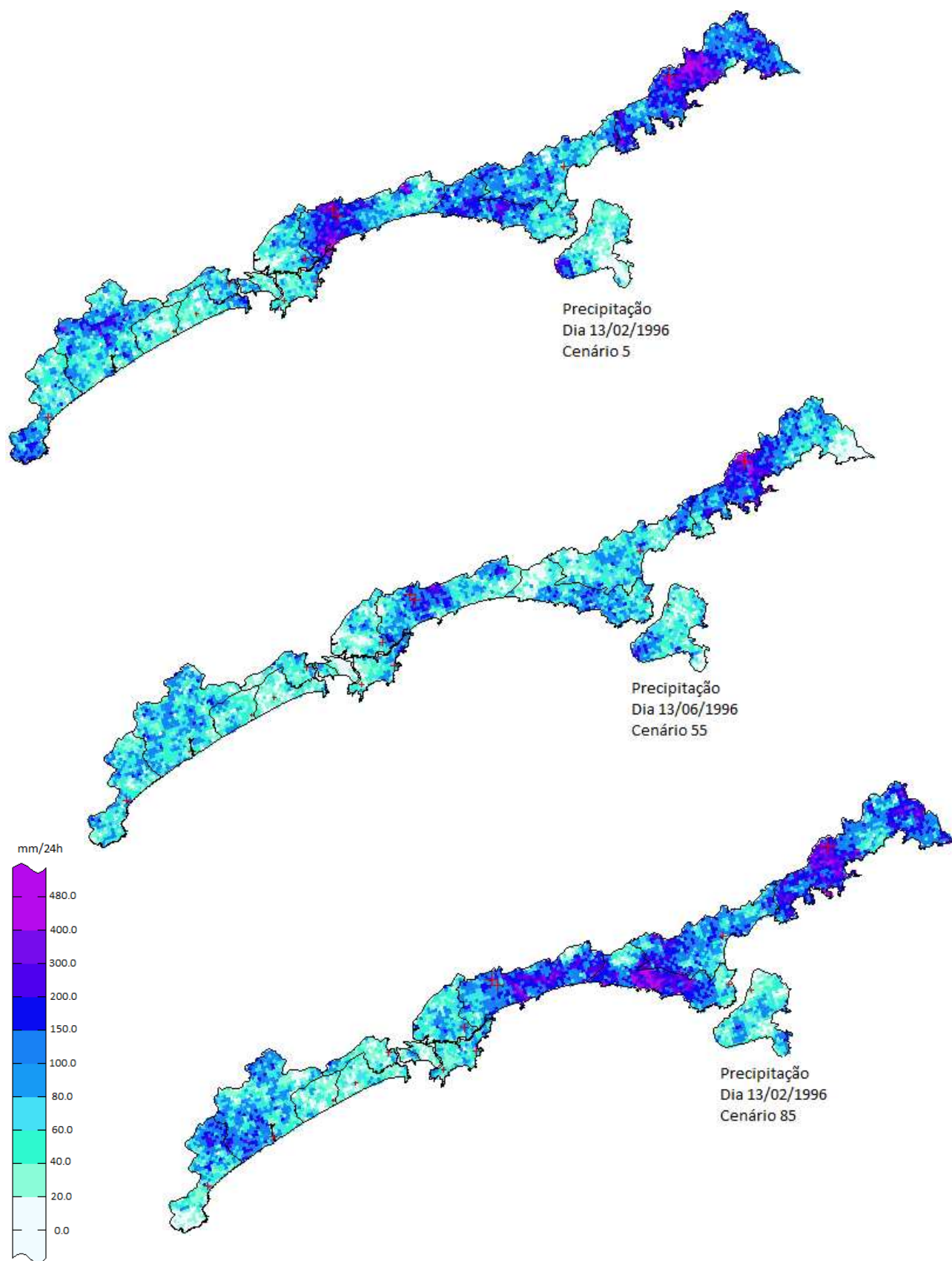


Figura 7.8 Cenários gerados pela simulação da precipitação (13/02/1996)

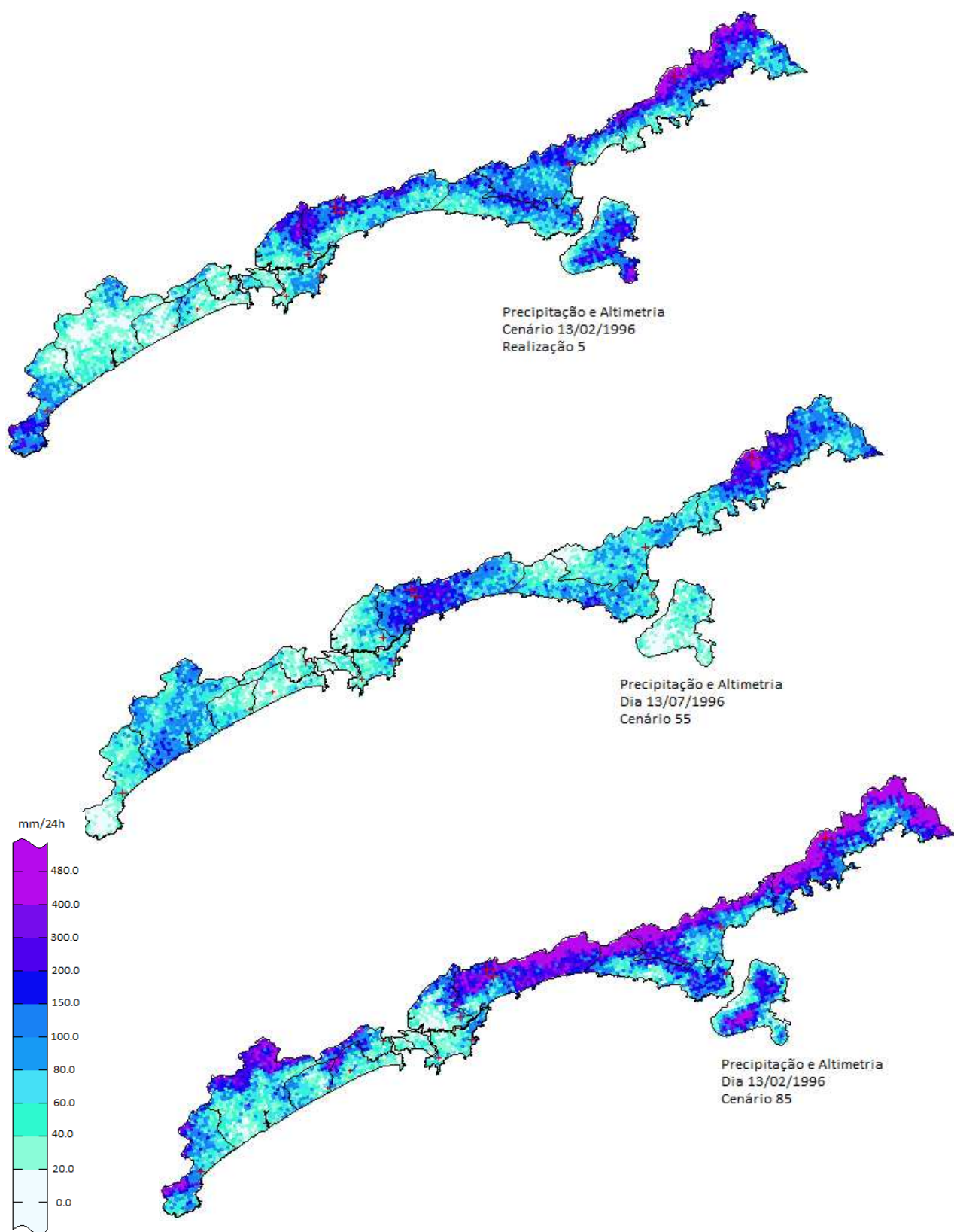


Figura 7.9 Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da altimetria (13/02/1996)

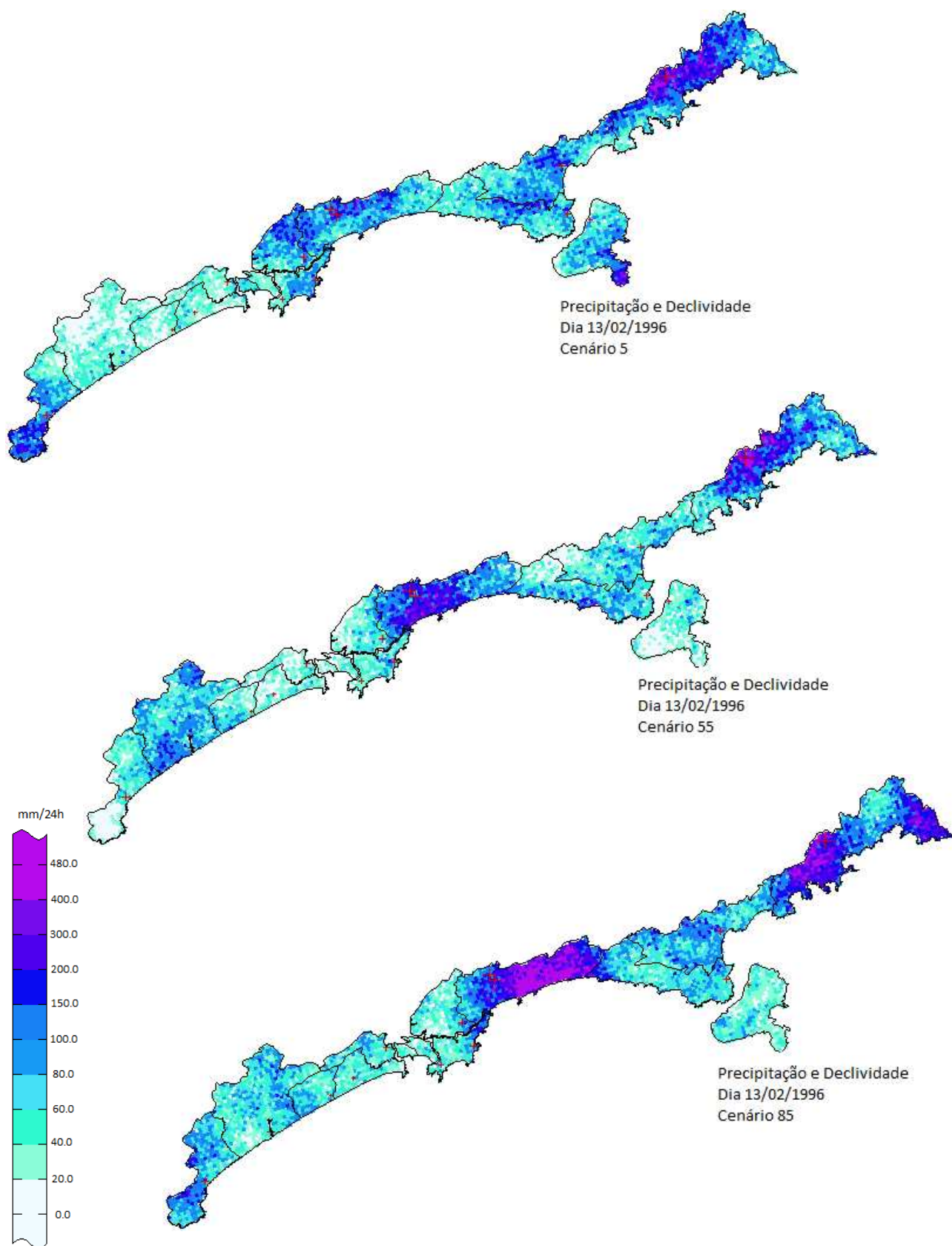


Figura 7.10 Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da declividade (13/02/1996)

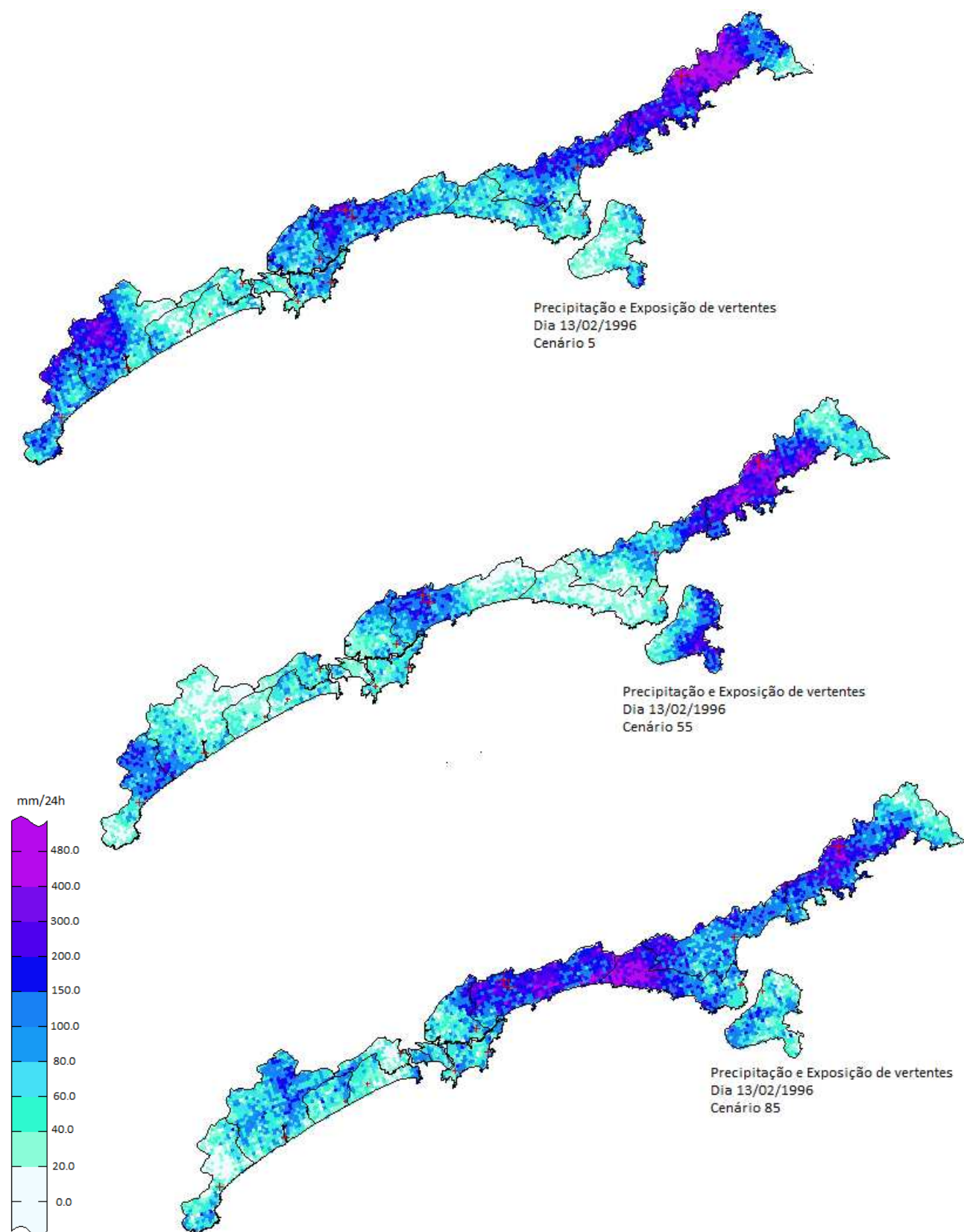


Figura 7.11 Cenários gerados pela simulação da precipitação com deriva externa da exposição de vertentes (13/02/1996)

Fica bastante ressaltada a grande incerteza envolvida na elaboração de mapas que possam subsidiar tomadas de decisão em relação aos eventos extremos de precipitação. Embora a simulação tenha apresentado diferentes cenários possíveis para a configuração do fenômeno, percebe-se a impossibilidade do uso dos mapas simulados *per se*. Uma das principais contribuições da simulação reside na capacidade de fornecer as incertezas resultantes tanto da baixa cobertura de dados, quanto do conhecimento imperfeito do fenômeno, pois a partir da elaboração dos cenários equiprováveis foi possível apontar locais com maior probabilidade de serem atingidos por chuvas intensas em episódios pluviais impactantes.

Por meio dos 32.100 cenários obtidos foram compostos mapas de probabilidade (Figura 7.12). Tomando como base estudos anteriores realizados sobre limiares de precipitação para a área (TATIZANA *et al.* 1985, TEIXEIRA e SATYAMURTI, 2006), a investigação da chuva diária para o período (Capítulo 5) e a análise dos episódios pluviais impactantes (Capítulo 6), foi determinado o total de 80,0mm/24h como valor de corte para a precipitação potencialmente impactante. O valor de probabilidade final corresponde à média das probabilidades para cada nó da malha (1km) dos 321 dias que compuseram os episódios pluviais impactantes, resultando na probabilidade de ocorrência de chuvas a partir de 80mm/24hs em episódios pluviais passíveis de acarretar transtornos.

O cenário obtido considerando apenas a precipitação (Figura 7.12) foi o mais conservador dos quatro elaborados, atribuindo baixa probabilidade (0 a 12%) de ocorrência de chuvas potencialmente impactantes (a partir de 80,0mm/24h) para toda a área, com exceção de diminuta área em Bertioga, com probabilidade moderada, sendo que no entorno desta zona a probabilidade ficou entre 9 e 12% neste cenário. Um pequeno setor entre o extremo leste de São Sebastião e sudeste de Caraguatatuba foi assinalado com baixíssima probabilidade. Com probabilidades entre 3 e 6% figuraram Ilhabela, a maior parte de Caraguatatuba, leste de São Sebastião e pequena faixa ao sul de Peruíbe. O restante da área apresentou probabilidades entre 6 e 9%.

A inserção de outras variáveis representando as rugosidades da superfície que podem interferir na distribuição da chuva acrescentou grande variabilidade aos cenários.

Associando a precipitação à altimetria (Figura 7.12), foi obtido o cenário com as mais altas probabilidades dos panoramas organizados. Em virtude dos postos de Bertioga apresentarem totais expressivos e estarem em locais de elevada altitude, influenciando a relação entre chuva e altimetria, este cenário aponta para as mais altas probabilidades na escarpa e em

Ilhabela. Houve o surgimento de novas áreas de baixas probabilidades (3 a 6%) entre Peruíbe e Itanhaém, bem como entre Praia Grande e Guarujá.

Utilizando a declividade como deriva externa (Figura 7.13) apareceram três áreas com probabilidades entre 9 e 12%: extremo leste de Ubatuba, faixa entre Ubatuba e Caraguatatuba e grande parte de Bertioga. Os setores com probabilidade entre 3 e 6% corresponderam a grande parte de Caraguatatuba, Ilhabela e leste de São Sebastião; oeste de Guarujá e faixa entre Peruíbe e Itanhaém.

A inserção da exposição de vertentes como deriva (Figura 7.13) também gerou um cenário de probabilidade conservador, sendo que a maior parte da área apresentou probabilidades entre 3 e 9%, despontando novamente a região de Bertioga, com probabilidades moderadas. Destaca-se que esta deriva capturou maior probabilidade de chuvas mais intensas na vertente exposta de Ilhabela em relação a vertente a sotavento.

Contudo, para fins de tomada de decisão é importante que a análise dos mapas de probabilidade seja realizada considerando o desvio padrão para avaliação das áreas com maior ou menor variabilidade.

A introdução das variáveis utilizadas como deriva incrementou a variabilidade dos cenários de distribuição espacial da precipitação, refletindo-se no aumento do desvio padrão global (Figura 7.14 .a, b, c e d; Figuras 7.15 e 7.16).

A simulação considerando apenas a precipitação apresentou os menores valores de desvio padrão, concentrados nas classes mais baixas. A divisa entre os municípios de Bertioga e São Sebastião e zona leste de Ubatuba despontaram como setores com maior nível de variabilidade neste cenário, decorrente da distância entre os postos, sendo que no segundo setor esse fator se associa também à extrapolação de dados.

A inserção da altimetria como deriva externa (Figura 15) acarretou no aumento do desvio padrão entre as realizações simuladas. As áreas em que houve incremento correspondem à combinação dos locais mais elevados com baixa cobertura de postos de coleta.

Nos cenários oriundos da relação entre precipitação e declividade (Figura 7.16) o desvio foi um pouco menor que o anterior, destacando-se a leste de Ubatuba, entre Ubatuba e Caraguatatuba e Bertioga e São Sebastião.

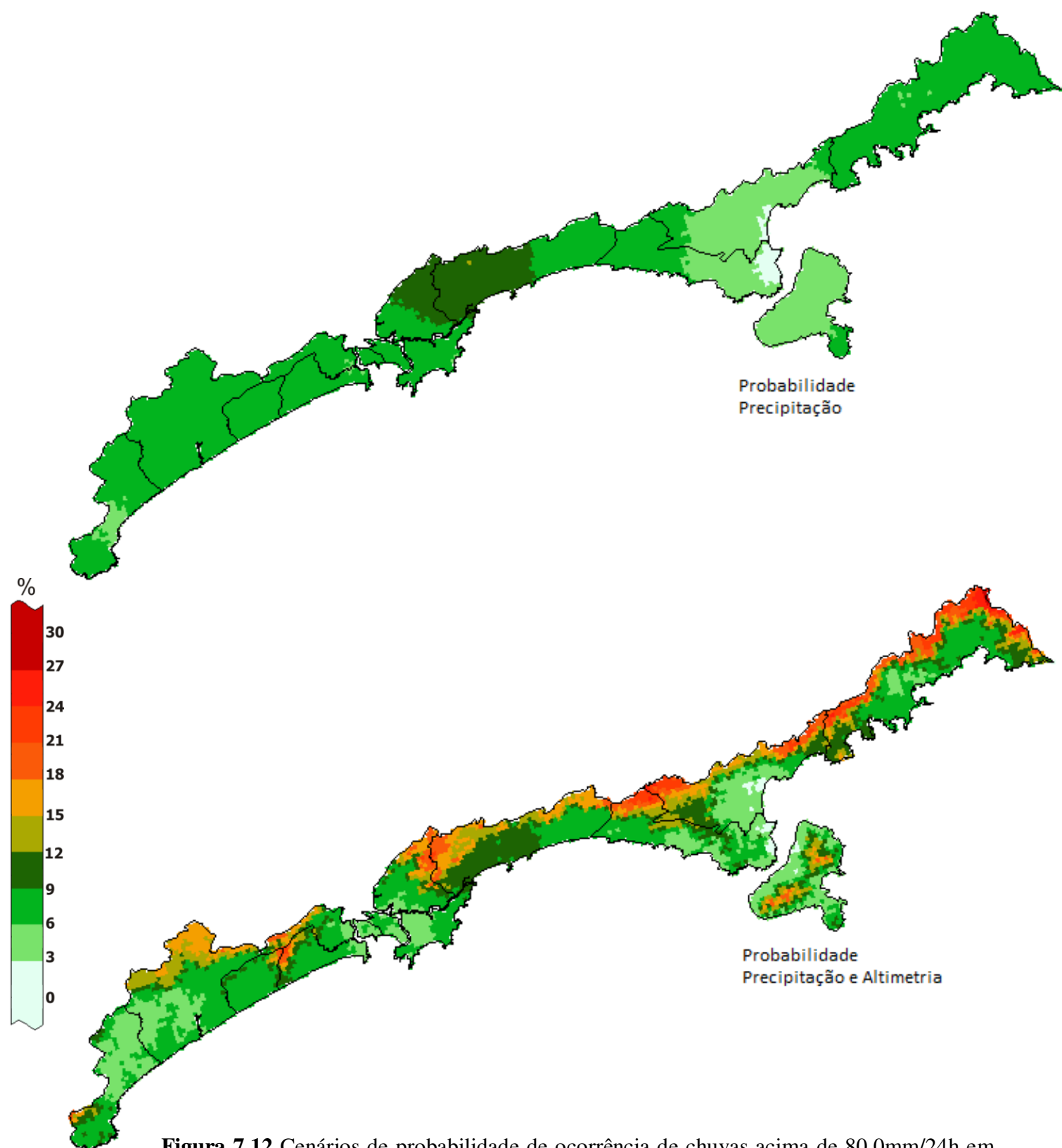
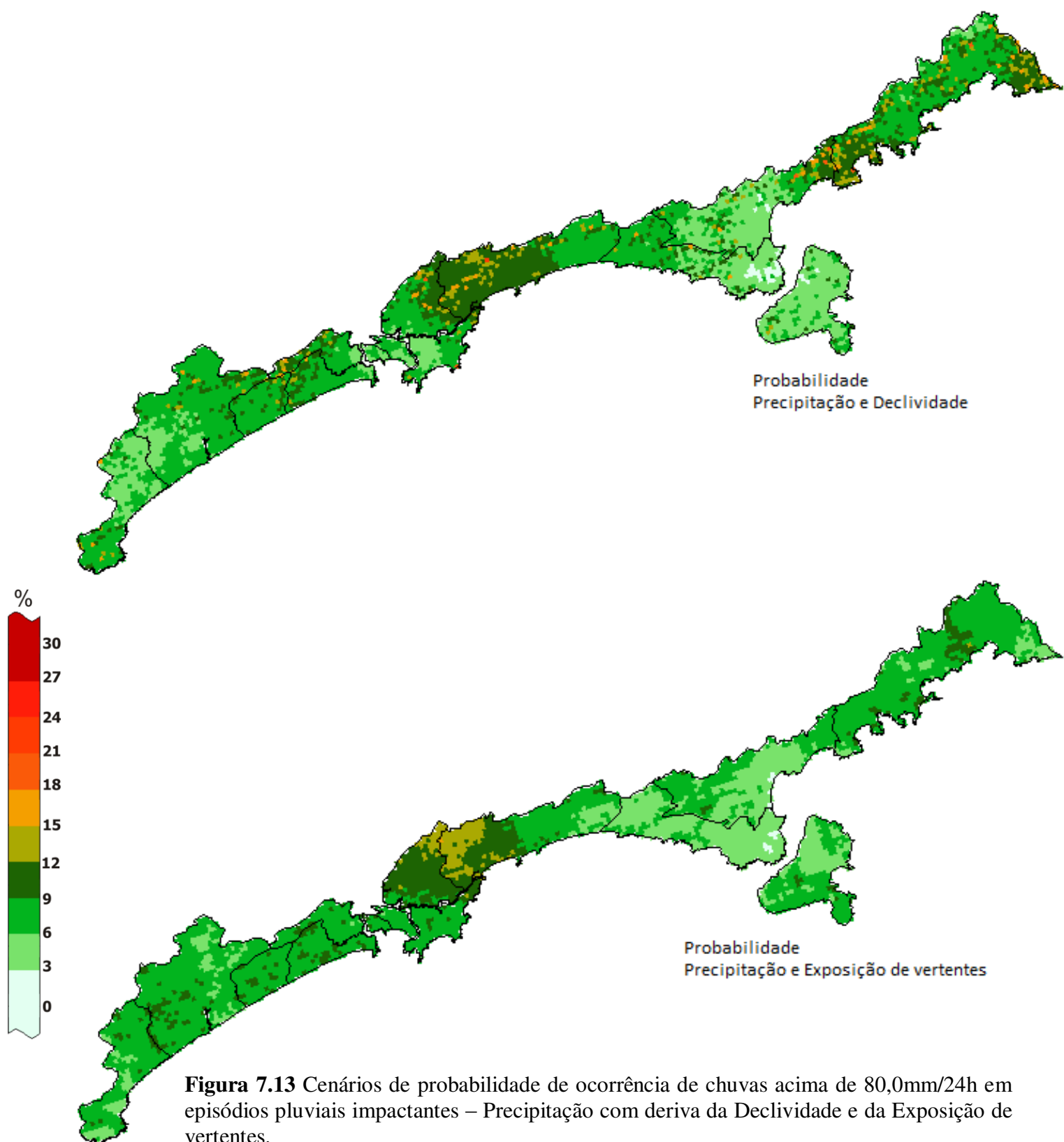


Figura 7.12 Cenários de probabilidade de ocorrência de chuvas acima de 80,0mm/24h em episódios pluviais impactantes – Precipitação e Precipitação com deriva da Altimetria



O desvio padrão entre as realizações com deriva da exposição de vertentes foi o menor entre a utilização de variáveis auxiliares, resultando em um cenário suavizado, bastante próximo aos obtidos pela simulação considerando apenas a precipitação, indicando pouca variabilidade.

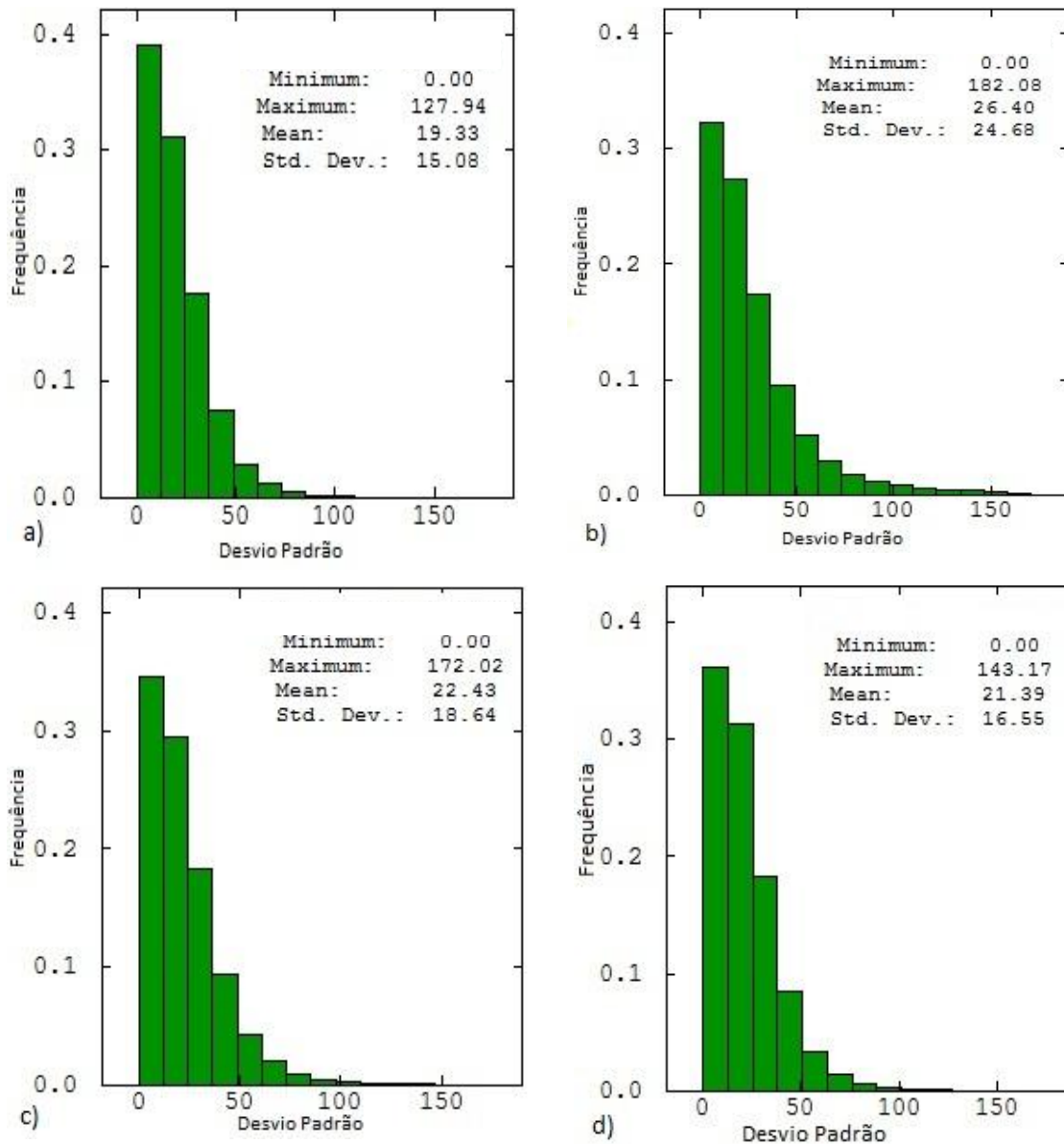


Figura 7.14 Histogramas dos resultados dos valores de desvio padrão das simulações a) precipitação; b) precipitação de altimetria; c) precipitação e declividade e d) precipitação e exposição de vertentes

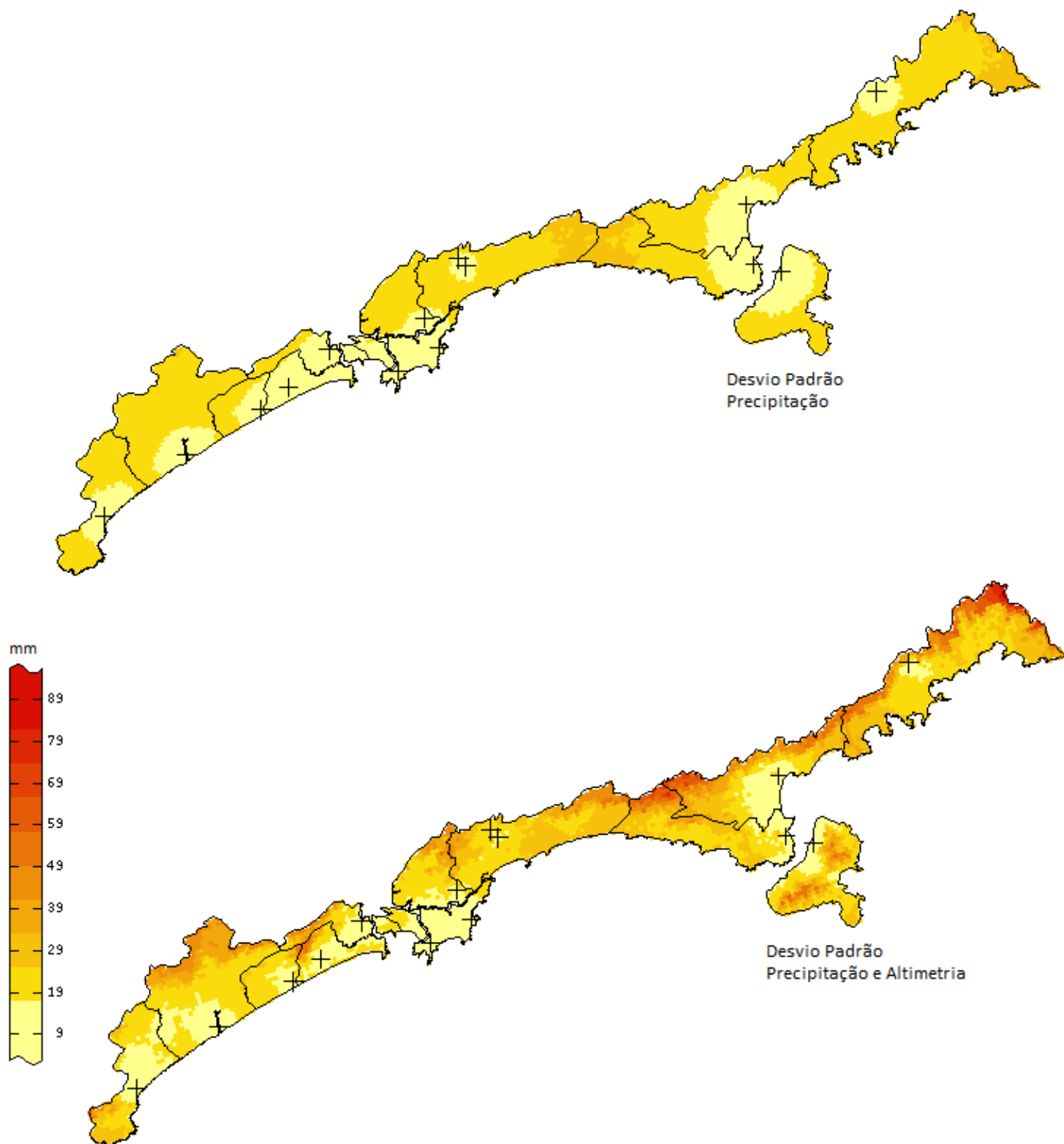


Figura 7.15 Cenários de desvio padrão da precipitação (24h) de episódios pluviais impactantes – Precipitação e Precipitação com deriva da Altimetria

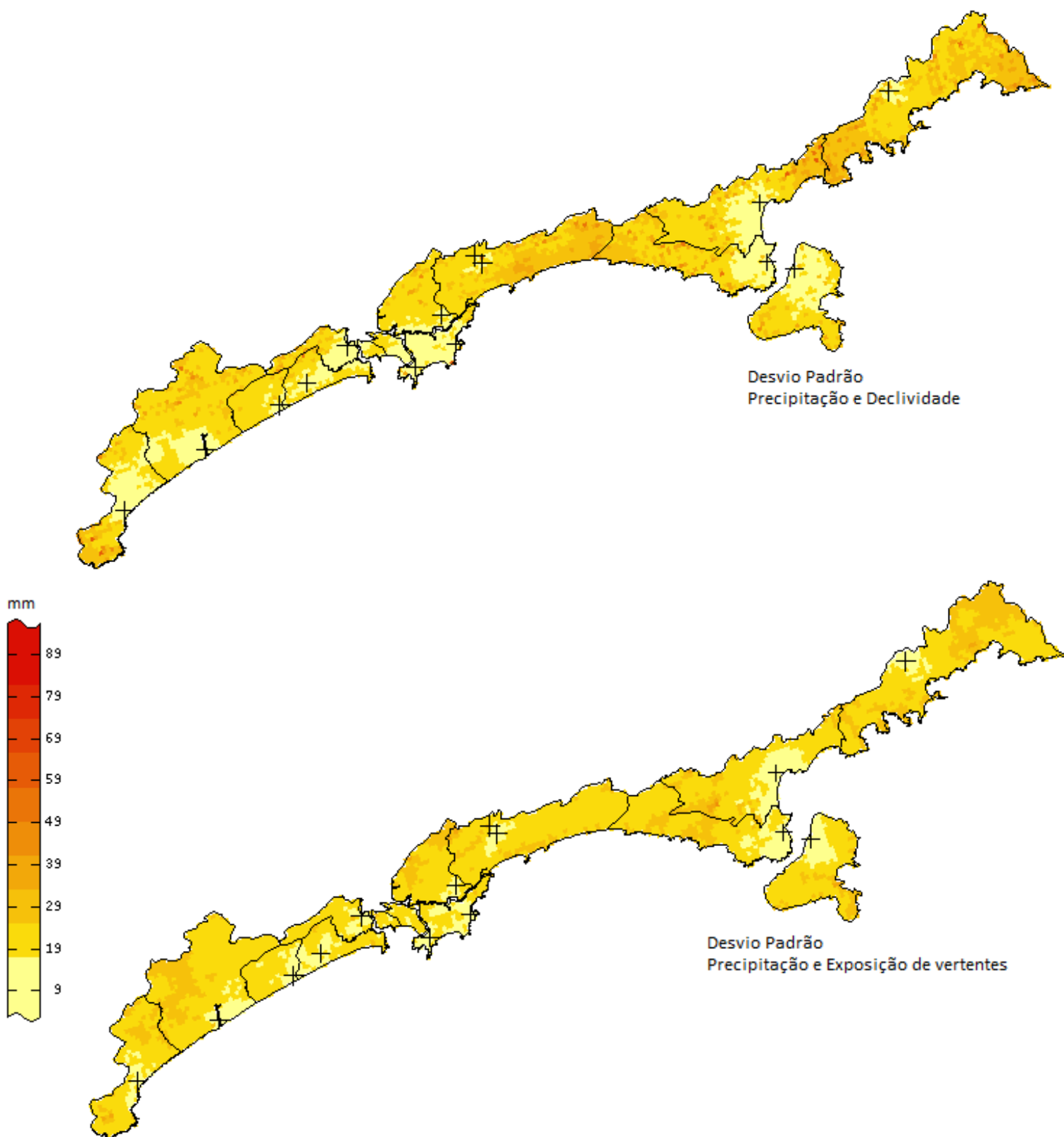


Figura 7.16 Cenários de desvio padrão da precipitação (24h) de episódios pluviais impactantes – Precipitação com deriva da Declividade e Precipitação com deriva da Exposição de vertentes

Mediante estas considerações, foram organizados os mapas de probabilidade com o desvio padrão, buscando propiciar um panorama para análise conjunta da incerteza aleatória, oriunda da variabilidade natural da precipitação ao longo do tempo e no espaço. Tal fato resulta na possibilidade de diversos cenários e, portanto, na probabilidade de ocorrência ou não do fenômeno na magnitude limiar, com a incerteza epistêmica associada tanto à falta de informação sobre a correlação entre o fenômeno e as variações da superfície, quanto à escassa cobertura de dados. Foi utilizada uma técnica de visualização inspirada em Pang (2000), no qual o mapa base e as cores representam a probabilidade de ocorrência de chuvas a partir de 80,0mm/24h e a elevação é dada pelo desvio padrão (Figuras 7.17 e 7.18).

A simulação da precipitação como única variável apontou áreas de baixo desvio padrão tanto em locais de alta probabilidade quanto de baixa, expressando baixa variabilidade decorrente da restrição de informações.

Grosso modo, as áreas com maior probabilidade de ocorrência de chuvas potencialmente impactantes no cenário gerado pela precipitação e altimetria são as que apresentam maiores valores de desvio padrão, expressando a enorme variabilidade da relação entre a chuva e o relevo. Destacam-se toda a faixa da escarpa a norte da região, a parte central de Ilhabela e sul de Peruíbe. A porção leste de São Sebastião apresentou pequena probabilidade com desvio moderado. O setor entre Peruíbe e Itanhaém e centro da Baixada Santista, com baixos valores de probabilidade, apresentaram menores desvios.

No panorama criado a partir da precipitação e declividade, as zonas de probabilidade moderada mostraram considerável desvio padrão, destacando-se o norte de Ubatuba, Caraguatatuba e Bertioga. Novamente neste cenário, Peruíbe e a região da Baixada Santista se sobressaem, com baixos probabilidade e desvio padrão.

Considerando a precipitação e a exposição de vertentes, a zona de Bertioga com maior probabilidade neste cenário também apresentou desvio padrão significativo; nas demais áreas, a baixa probabilidade foi associada a desvio padrão moderado na região serrana no norte de Ubatuba.

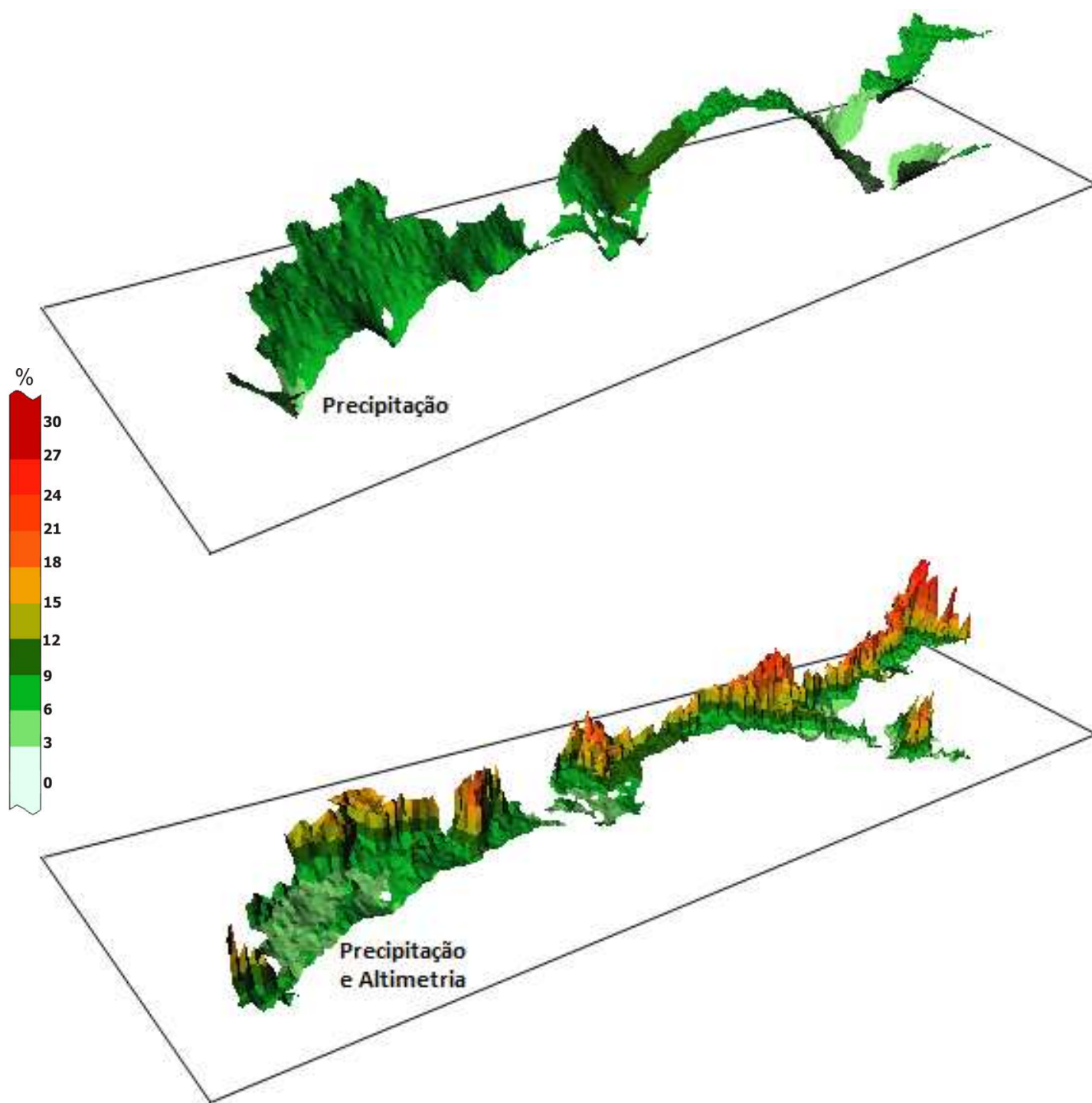


Figura 7.17 Cenários apresentando em conjunto a probabilidade e o desvio padrão – Precipitação; Precipitação e Altimetria

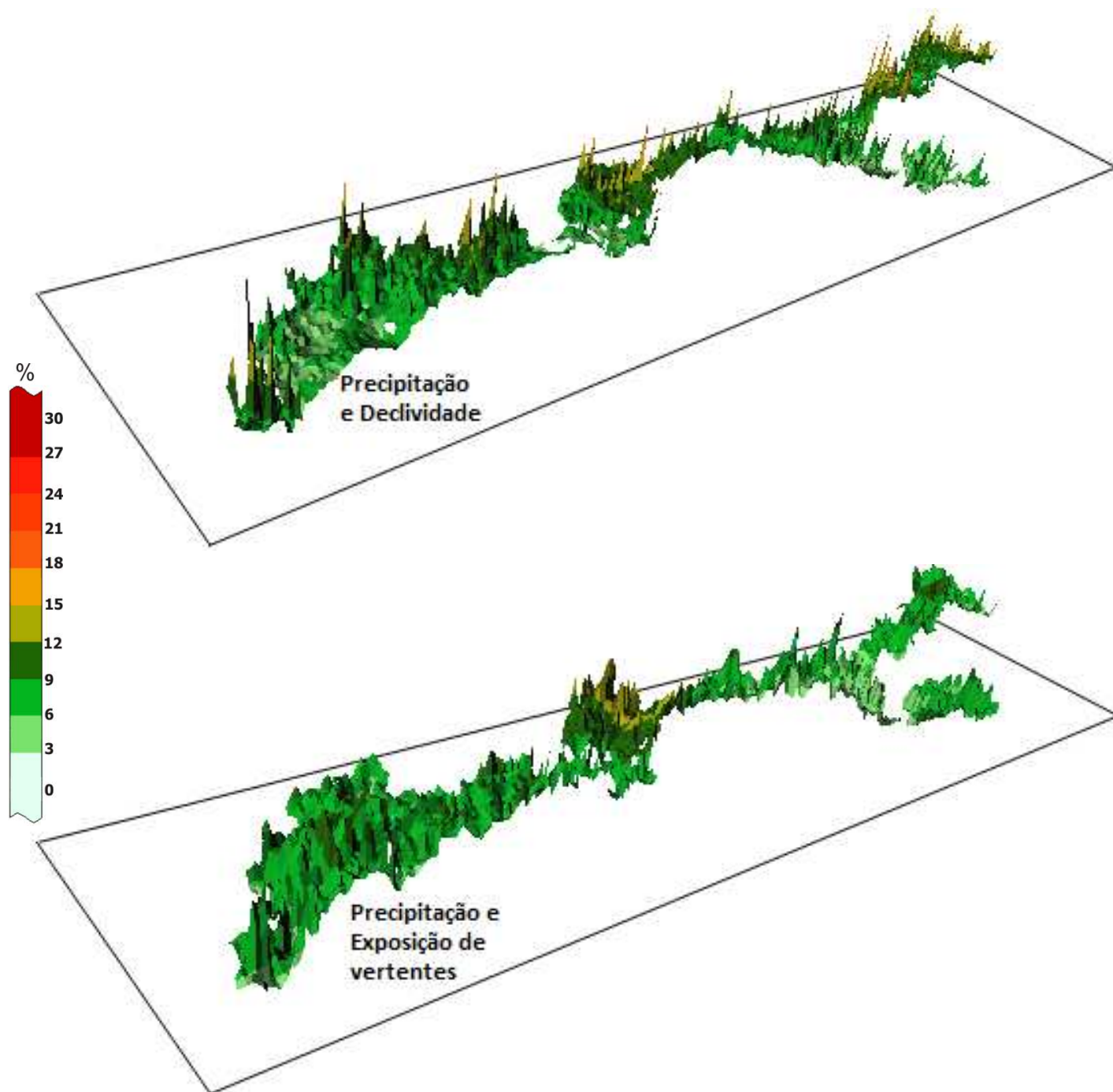


Figura 7.18 Cenários apresentando em conjunto a probabilidade e o desvio padrão – Precipitação e Declividade ; Precipitação e Exposição de vertentes

Embora a utilização de variáveis secundárias tenha incrementado os desvios entre as realizações, a análise mostra que essas maiores diferenças estão associadas ao aumento de complexidade quando são inseridas outros elementos componentes do sistema, e não necessariamente apontam a melhor componente, visto que a relação entre a precipitação e o relevo não é linear, e o maior limitador para a elaboração de mapas de distribuição espacial relaciona-se à incerteza.

Desta forma, a partir do uso de informações sobre o fenômeno e sobre elementos da superfície que têm interação na distribuição da precipitação, foi possível apontar as áreas com maiores/menores incertezas ligadas à variabilidade da interação chuva/superfície e à falta de dados sobre o fenômeno.

Capítulo 8

Proposta de modelos preditivos de impactos associados à precipitação em municípios do litoral paulista

As ferramentas de avaliação de risco se constituem em instrumento de auxílio para gestores na tomada de decisões frente aos impactos associados às chuvas intensas.

Os modelos preditivos estão entre as ferramentas mais usadas para avaliação do risco de impactos, que tem como objetivo fornecer informações subsidiárias para o planejamento, delineando diferentes panoramas possíveis na probabilidade do risco.

A elaboração de modelos preditivos envolve um processo de constante aprimoramento, especialmente no que tange a fenômenos fortemente dinâmicos, a exemplo dos impactos, pois como são resultado da interação entre suscetibilidade e vulnerabilidade, novos componentes podem se tornar parte do processo, enquanto outros, deixam de ter importância.

Mediante estas considerações, o objetivo deste capítulo foi realizar uma proposição inicial e avaliação de modelos de predição para possibilidade de ocorrência de impactos relacionados às precipitações intensas na Baixada Santista e Litoral Norte da zona costeira paulista, considerando em conjunto os diferentes graus de suscetibilidade e vulnerabilidade dos municípios. Foram utilizadas duas abordagens, sendo a primeira uma rede neural artificial denominada Mapa Auto-Organizável (SOM), e a segunda, uma empírica, a Regressão Linear Múltipla (RLM).

8.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

A escolha das variáveis para composição dos modelos foi pautada em parâmetros que refletissem a vulnerabilidade da população e a suscetibilidade física na área, baseada em análises prévias sobre a região e nos estudos realizados na presente investigação.

As unidades escalares foram determinadas de acordo com a resolução das informações disponíveis: o recorte espacial corresponde ao município e o temporal ao ano, abrangendo a década de 1994 a 2003. Desta forma, a análise foi realizada em uma perspectiva espacial e temporal, na qual cada município teve uma representação diferente a cada ano nas variáveis mais

dinâmicas como, por exemplo, a precipitação.

A seguir, são relacionados os elementos levantados inicialmente, com a descrição e a justificativa para a seleção.

a) **Variáveis físicas: suscetibilidade**

1. Precipitação total ($PcpT$): total anual de precipitação. Considerado como o principal fator condicionante aos impactos.
2. Precipitação média ($PcpMd$): tendência central da precipitação nos 10 anos analisados. Trata-se de uma variação escalar do atributo anterior.
3. Desvio padrão da precipitação ($PcpS$): desvio padrão da precipitação intra-anual. O objetivo é captar a variabilidade da precipitação ao longo do período.
4. Altitude média (ZMd): altitude média por município. Relaciona-se ao fator de intensificação orográfica da chuva e à maior probabilidade de ocorrências de escorregamentos em áreas elevadas, e alagamentos nas mais baixas.
5. Desvio padrão da altitude (ZS): corresponde ao desvio padrão das altitudes por município. Fornece a variabilidade do terreno e aponta os municípios com maior/menor suscetibilidade a escorregamento ou alagamentos;
6. Declividade média ($DcvMd$): declividade média por município. Áreas com maior declividade estão sujeitas à intensificação pluvial orográfica e a mais acidentes relacionados a movimentos de massa.
7. Desvio padrão da declividade ($DcvS$): desvio padrão da declividade por município. Sua utilização busca captar maior/menor nível nas diferenças altimétricas de relevo.
8. Ocorrências de impactos (Haz): episódios de precipitação que causaram acidentes relacionados a alagamentos e/ou escorregamentos nos municípios selecionados (episódios pluviais impactantes). É a variável alvo da modelagem.
9. El Niño (EN): ocorrências de El Niño, classificadas de acordo com a intensidade fraca, moderada ou forte. Vários estudos demonstraram a relação entre a atuação do El Niño com alterações na intensidade e distribuição da precipitação anual na região sudeste do Brasil.

10. La Niña (*LN*): ocorrências de La Niña, classificadas como a anterior. Também podem provocar alterações na distribuição e intensidade da precipitação.
11. ZCAS (*Z*): atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. Alguns episódios de chuvas intensas e contínuas foram observados durante a atuação da ZCAS.
12. Solo predominante (*SoPrd*): tipo de solo predominante por município. Os diferentes tipos de solo e suas características têm fundamental importância na maior/menor suscetibilidade a escorregamentos e alagamentos.
13. Solo urbano (*SoUrb*): tipo de solo predominante na mancha urbana por município. A área urbana sofre maior pressão em virtude da intensa ocupação do solo, e embora as cidades brasileiras se caracterizem, de forma geral, por grande impermeabilização do solo, faixas suscetíveis como terrenos acidentados e áreas circundantes aos cursos d'água urbanos podem apresentar solo nu.
14. Solo escarpa (*SoEs*): tipo de solo predominante em terrenos movimentados. A combinação entre relevo movimentado e solos suscetíveis a escorregamentos torna a área mais propícia a ocorrência de impactos.

b) Variáveis Socioeconômicas: vulnerabilidade

15. População (*PopT*): população total por município. Quanto maior a população de um município, maior o número de vítimas em potencial.
16. Densidade demográfica (*DD*): população total dividida pela área do município. Esta variável aponta para maior pressão sobre determinado local, pois quanto maior a densidade populacional maior a aglomeração de pessoas e mais intensa cobertura do solo.
17. Taxa de urbanização (*UrbT*): porcentagem da população urbana em relação à população total. Indica o grau de concentração de pessoas na área urbana do município. Relaciona-se igualmente com a probabilidade de taxas mais elevadas de impermeabilização do solo, considerando o modelo de urbanização atual.
18. Áreas de risco (*AR*): são áreas com possibilidade de perda ou dano social e econômico, causada por uma condição ou processo de origem natural, que pode ser induzido ou potencializado por intervenções nos terrenos, executadas de maneira inadequada (SEADE, 2009). Neste levantamento, foi computado o número de áreas

de risco com moradias, pois a população que habita áreas de risco é mais vulnerável aos episódios pluviais impactantes.

19. Índice de desenvolvimento humano (*IDH*): índice estabelecido a partir das variáveis longevidade, educação e renda. Relacionado à qualidade de vida da população, indicando maior/menor capacidade de absorver impactos, modificar comportamentos de risco e apresentar maior/menor resiliência aos desastres naturais.
20. Intensidade da pobreza (*IP*): distância percentual entre a renda média *per capita* dos indivíduos pobres e a linha da pobreza (R\$75,50). Em hipótese, a população com alto grau de intensidade de pobreza, terá habitações mais precárias frente a situações de chuvas intensas e maior probabilidade de ocupar áreas de risco.
21. Índice de Gini (*IG*): usado como medida de desigualdade de distribuição de renda. Municípios com maior concentração de renda possuem grande parte da população com resiliência comprometida.
22. Número de homicídios (*Hm*): número de mortos por homicídio. Indica alto grau de vulnerabilidade social e presença/ausência das instituições públicas na assistência à população.
23. Taxa de homicídios (*HmT*): razão entre o número de vítimas de homicídio e a população total do município. Aponta a intensidade da vulnerabilidade social relativa ao número absoluto de homicídios.

Embora as variáveis número de vítimas e o tipo de impacto deflagrado fossem considerados como muito importantes para caracterização da vulnerabilidade, as informações levantadas não foram consideradas robustas o suficiente para compor a modelagem.

8.2 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS UTILIZANDO O SOM

As condições que podem levar a ocorrências de impactos relacionados a chuvas intensas são resultantes de interações complexas e não-lineares. Essas características motivaram a aplicação de um modelo não-linear baseado em redes neurais artificiais (RNA). Foi utilizada a

técnica de Mapa Auto-Organizável (SOM, do inglês *Self Organized Map*), um algoritmo de rede neural não- supervisionada (KOHONEN, 2001).

O foco principal no uso do SOM foi realizar a modelagem preditiva mas, adicionalmente, o mapeamento realizado permitiu a análise das variáveis a partir da comparação entre as imagens geradas.

O conjunto de dados originais foi dividido em dois grupos: o de treinamento com 95 amostras, e o de validação, com 25 amostras selecionadas aleatoriamente dos dados originais.

Após o processamento dos dados e a elaboração do mapa auto-organizável, a visualização da informação das variáveis foi feita através dos planos de componentes (Figura 8.1) e da matriz-U (Figura 8.2).

Os planos de componentes são usados para visualizar relações entre os nós dos vetores no SOM, sendo que variáveis fortemente correlacionadas tem a mesma estrutura espacial de cores (FRIEDEL, 2010). Cada imagem representa uma variável utilizada no estudo, que está identificada pela sigla no alto de cada plano. A paleta de cores representa o gradiente dos valores da variável: os baixos valores iniciam-se no azul escuro aumentando em direção ao vermelho, ou seja, cores mais quentes estão associadas a altos valores do elemento e cores mais frias a baixos valores. A propriedade de preservação da topologia permite a comparação espacial (em termos euclidianos e não geográficos) entre dois planos componentes. Tomando-se como exemplo as imagens PcpT e PcpMd, observa-se que possuem estruturas similares de distribuição das cores, com altos valores no lado esquerdo do mapa (mancha circular vermelha e amarela) e grande parte da figura dominada por baixos valores (em azul), indicando que as duas variáveis apresentam altos valores e baixos valores nos mesmos locais.

A matriz-U representa a relativa proximidade entre os nós no mapa auto-organizável (ULTSCH e VETTER, 1994) sendo um indicativo das distâncias entre os agrupamentos. É composta pela relação entre as variáveis.

As cores mais quentes representam maiores distâncias entre os grupos, ou seja, expressam dissimilaridades; já as cores mais frias representam menores distâncias, ou similaridades.

A análise dos planos de componentes (Figura 8.1) do grupo de treinamento permite observar similaridades/dissimilaridades entre os elementos. Cabe ressaltar que os comentários

aqui tecidos são referentes ao período de 1994 a 2003 e em nível municipal, podendo ter havido mudanças, em especial nas variáveis socioeconômicas e climáticas, que são altamente dinâmicas.

Como seria esperado, variáveis derivadas, tais como precipitação total (PcpT), média (PcpMd) e desvio (PcpS) apresentaram estruturas similares, pois a precipitação média e o desvio são calculadas com base na precipitação total. O cálculo da correlação corrobora esta hipótese, sendo $\rho = 99\%$ para PcpT x PcpMd; $\rho = 80\%$ para PcpT x PcpS e para PcpMd x PcpS.

Essa similaridade também é observada entre solo predominante (SoPrd) e solo urbano (SoUrb), apontando que, aparentemente, nesta escala, a mancha urbana da maioria dos municípios da região se encontra sobre o tipo de solo predominante ($\rho = 80\%$).

As variáveis homicídio (Hm), população total (PopT) e densidade demográfica (DD) mostram forte correlação (90% Hm x PopT; 94% Hm x DD), indicando que de 1994 a 2003, mortes violentas ocorreram em maior número nos locais mais densamente povoados. Essa relação é um tanto lógica, pois setores com maior população têm probabilidade mais alta de apresentar maior número de homicídios em comparação a lugares com menos pessoas. A matriz-U (Figura 8.2) permite visualizar que São Vicente e Santos são os municípios associados ao grande contingente populacional, e São Vicente à área densamente povoada na parte superior do plano componente, embora isto não signifique que sejam os únicos, pois o neurônio é rotulado com a variável que teve maior contribuição, mas pode haver outras associadas ao grupo. É interessante observar a taxa de homicídios (HmT, no plano de componentes), que indica que a área com a maior taxa de homicídios não é a mais populosa, e está associada ao Guarujá.

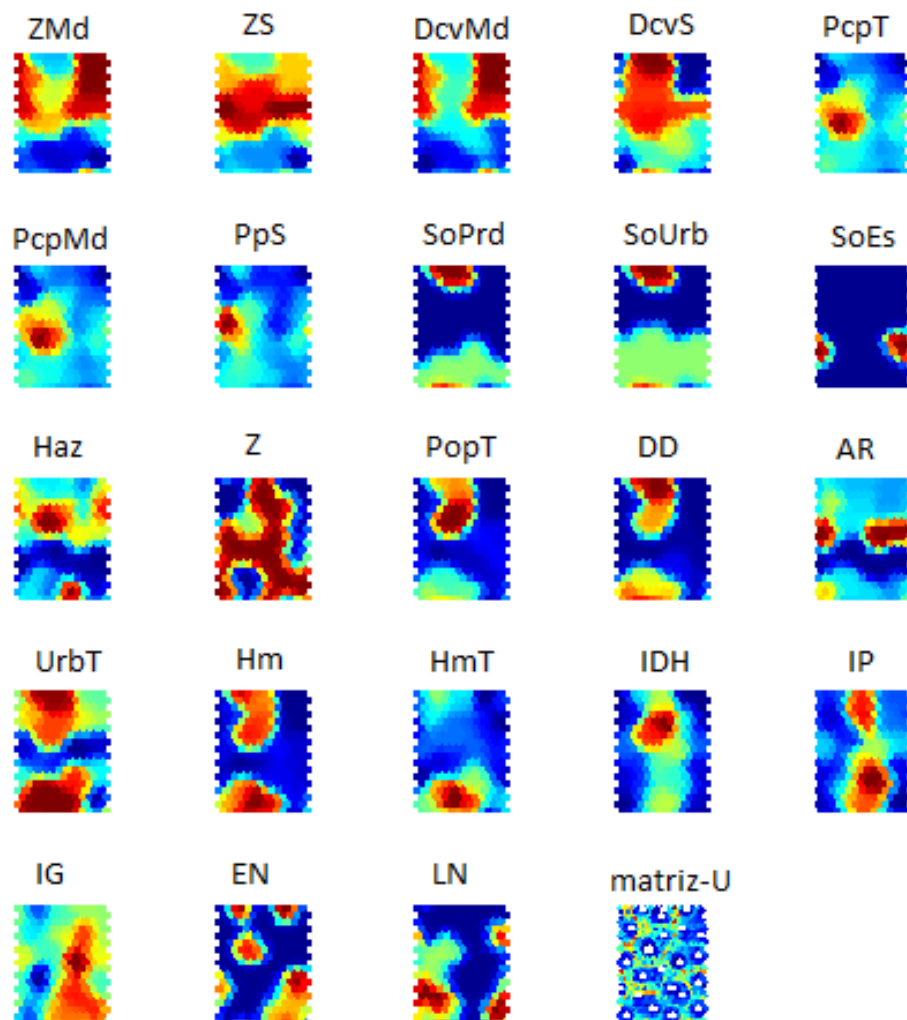


Figura 8.1 Plano de componentes das variáveis do conjunto de treinamento. Cores mais quentes estão associadas a altos valores e cores mais frias, a baixos valores. Variáveis categóricas tiveram suas denominações transformadas para valores numéricos, que podem ser observados nos procedimentos metodológicos.

Elaborado por Andrea Koga-Vicente/ Michael J. Friedel

Outras relações são inversamente proporcionais como, por exemplo, entre a elevação média (ZMd) e população total (PopT) em um local mais específico da imagem (forma alongada no centro da parte superior do plano de componentes), indicando que a maior população desta área se concentra em municípios de altitude média não tão elevada, mas de elevado desvio de declividade (DcvS), podendo indicar locais com variação acentuada de terreno. Porém, a maior densidade demográfica (DD) é registrada (no centro do extremo da parte superior do plano de componentes) em faixas de baixa altitude (ZMd), com elevado desvio de declividade (DcvMd).

Essas relações não são captadas bem pelo índice de correlação ($\rho = -43\%$ em ZMd e PopT; $\rho = 34\%$ em DD x DcvMd).

O atributo alvo, impactos (HAZ), mostra correlação de 50% com as áreas de risco (AR), onde locais com baixíssimo número de áreas de risco com moradias coincidem com municípios com poucos impactos registrados (faixa azul escura no centro das imagens), a saber: Bertioga e Itanhaém. A região com maior número de registro de impactos, associada a Santos, mostrou similaridade com atuação de El Niño (EN), mas também podem ser observadas similaridades entre EN e zonas com baixos valores de impacto (forma alongada na parte inferior direita da imagem).

As estruturas de similaridade/dissimilaridade entre os atributos foram satisfatoriamente captadas, compatíveis com as informações sobre a área e indicam um ajuste adequado do modelo, bem como, a adequação destes elementos como variáveis explanatórias no modelo preditivo (FRIEDEL *et al.*, 2010). O SOM mostrou-se uma ferramenta muito ágil para captar relações entre as variáveis; contudo, cabe alertar para a possibilidade de relações espúrias, sendo incumbência do pesquisador estar atento a estas questões.

A seguir, foi processado o grupo de validação, sendo que nesta etapa os valores dos impactos (Haz) foram removidos e simulados. O resultado pode ser observado na matriz-U da variável Haz (Figura 8.2), e para analisar as contribuições foram gerados os planos de componentes do grupo de validação (Figura 8.3). A configuração da matriz-U é avaliada pela análise das contribuições das variáveis individuais, onde altos valores (cores quentes) ou baixos (cores frias) coincidentes na mesma área na imagem de diferentes variáveis contribuem para formar uma área de similaridade (azul) na matriz-U.

As validações serão apresentadas na discussão do modelo preditivo, mas a inspeção visual das variáveis mostra que as estruturas estão semelhantes às anteriores, apontando para um ajuste satisfatório.

São observadas quatro faixas de similaridade (azul escuro) na imagem da matriz-U: a mais ampla se localiza na parte inferior, a segunda no canto direito, a terceira no canto esquerdo e a quarta no extremo canto esquerdo superior.

A área de maior similaridade localiza-se na parte inferior da imagem (zona azul escura), associada à Bertioga, Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande. Apresenta forte semelhança estrutural neste setor (planos componentes, Figura 8.3) com áreas de risco (AR), coincidindo

com faixas de baixa quantidade de áreas de risco e baixas ocorrências de impactos (Haz), sendo percebida coincidência com uma pequena zona de dissimilaridade na matriz-U associada ao Guarujá.

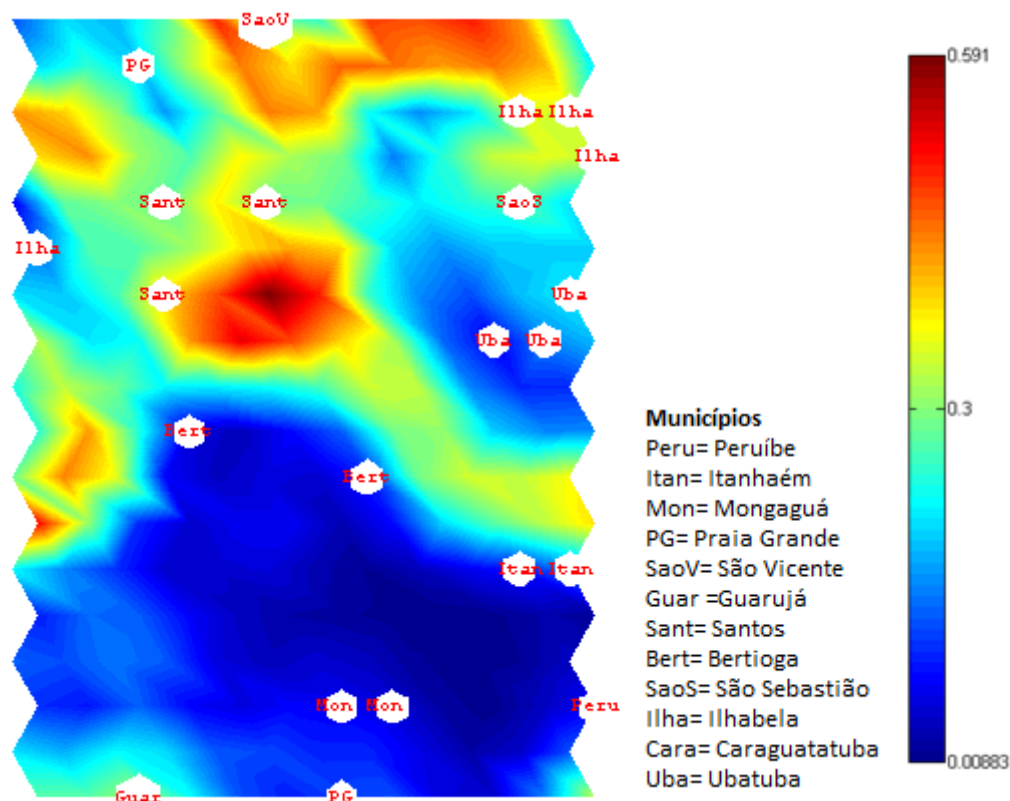


Figura 8.2 Matriz-U da variável impactos (HAZ). Os hexágonos brancos correspondem a áreas com presença de dados. Áreas em cores frias representam similaridade e em cores quentes dissimilaridades.

Elaborado por Andrea Koga-Vicente/ Michael J. Friedel

A população (PopT) e a densidade demográfica (DD) também apresentam aparente contribuição nesta faixa, coincidindo baixos valores.

Em duas outras zonas de similaridade (centro-direita e centro-esquerda da imagem matriz-U) observa-se, novamente, grande contribuição de áreas de risco (AR) com altos valores, aparente contribuição das variáveis relativas a suscetibilidade: altitude média (ZMd), desvio padrão da altitude (ZS), declividade média (DcvMd) e desvio padrão da declividade (DcvS). Os municípios associados são os do Litoral Norte, o que é bastante consistente, pois são municípios com relevo movimentado e menos densamente povoados que os da Baixada Santista.

Na pequena zona no canto superior esquerdo, a faixa de similaridade parece ser resultado das contribuições de áreas de risco (AR), população total (PopT), densidade demográfica (DD), taxa de urbanização (UrbT), homicídios (Hm) e taxa de homicídios (HmT). Considerando que o município associado foi Praia Grande com grande taxa de urbanização e elevados índices de violência, o arranjo foi bastante consistente.

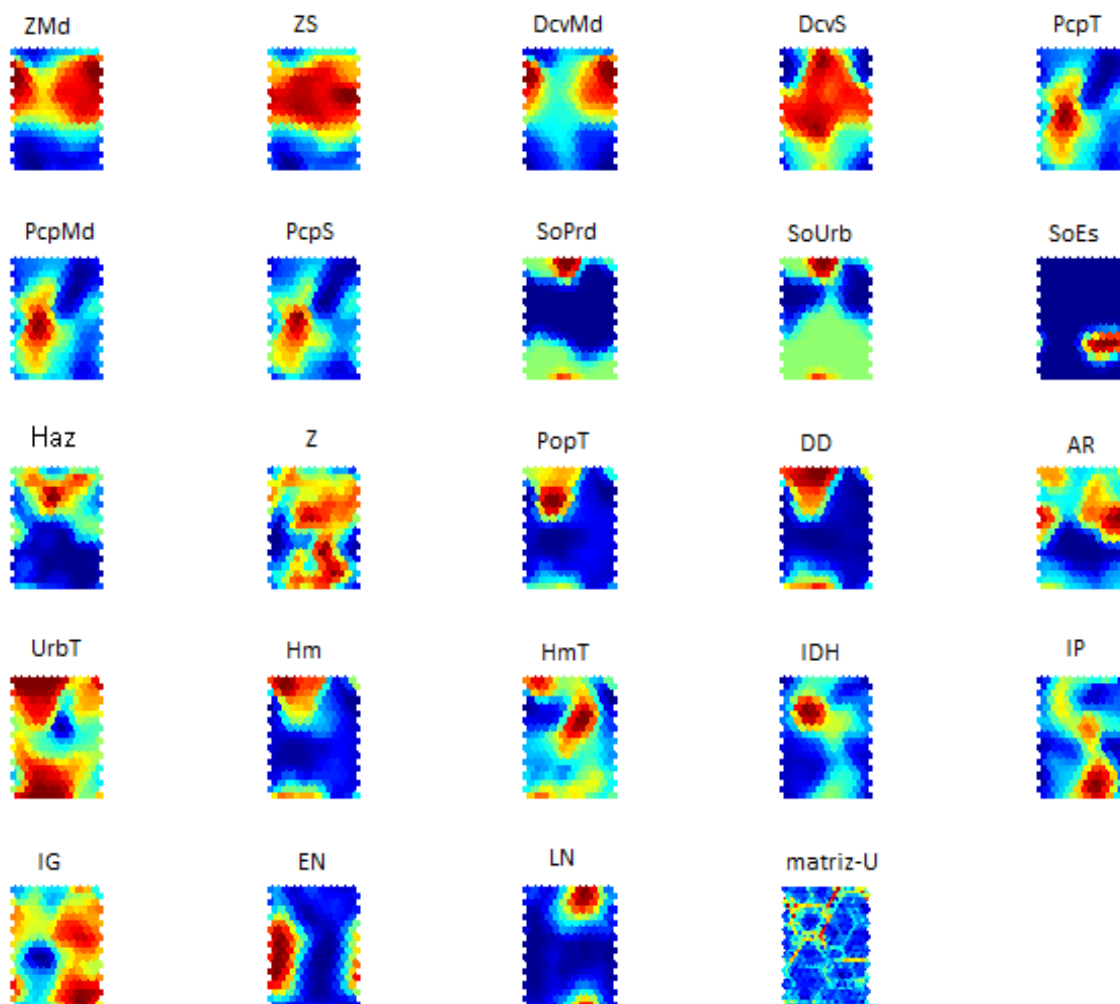


Figura 8.3 Planos de componentes das variáveis do conjunto de validação.
Elaborado por Andrea Koga-Vicente/ Michael J. Friedel

Em termos de contribuição geral, o atributo áreas de risco (AR) apresentou a maior correlação ($p=70\%$) com a variável Haz, sendo bastante coerente, pois municípios com elevada quantidade de áreas de risco com moradias terão maior probabilidade de ocorrência de impactos

em razão da população mais exposta ao risco. Porém, esta não é uma relação linear, pois o maior número de impactos não se associa ao município com mais áreas de risco.

A altitude média (ZMd) e o desvio padrão da altitude (ZS) tiveram ambos 50% de correlação com Haz, com destaque para a faixa de mais baixas ZMd, coincidindo com áreas de baixos registros de impactos.

A população total (PopT) e a atuação da La Niña (LN) apresentaram 50% de correlação com Haz. Essa relação entre Haz e LN não foi passível de ser avaliada nas imagens, mas é análoga aos resultados já observados neste estudo.

Embora a precipitação seja o principal agente para a deflagração de impactos considerados neste estudo, as correlações entre Haz e as modalidades da precipitação consideradas não foram significativas, atribuindo-se este fato à escala adotada, pois os impactos ocorrem na escala diária, e na anual não foi representativa.

As demais variáveis climáticas, El Niño e ZCAS, também não foram bem retratadas, provavelmente devido à complexidade de relações com o fenômeno alvo e a necessidade de avanço no conhecimento dessas relações, ambos associados respectivamente às incertezas aleatórias e epistêmicas.

Outro fator relacionado às duas questões anteriores é a curta série temporal adotada, pois apesar da grande dinâmica dos fenômenos atmosféricos, eles têm ciclos bastante longos, necessitando de séries mais longas para serem adequadamente captados.

8.3 PROPOSTA DE MODELO PREDITIVO DE IMPACTOS PARA A BAIXADA SANTISTA E LITORAL NORTE

8.3.1 Abordagem utilizando o SOM

As relações não-lineares entre as variáveis foi a principal motivação para a aplicação do SOM na modelagem preditiva. Como vantagem em relação aos modelos empíricos, apresenta a habilidade de aprender a partir de seu ambiente e com isso melhorar seu desempenho. Outra diferença desta técnica em relação às abordagens tradicionais é que as relações entre as variáveis e o modelo são adquiridas por meio da mineração de dados realizada pelo SOM (FRIEDEL *et al.*, 2009), sem parâmetros previamente determinados sendo, portanto, aplicáveis a fenômenos oriundos de relações não-lineares.

Foram processadas 15 realizações considerando as variáveis relativas à suscetibilidade e vulnerabilidade.

A validação do modelo preditivo RNA foi realizada em duas fases: (1) validação cruzada nas ocorrências de impactos usados no processo de treinamento e validação cruzada no grupo de 25 dados selecionados aleatoriamente para a validação.

Tendo em vista a resolução das informações disponibilizadas, optou-se por fazer uma predição binária. Caso o valor de previsão seja maior que 0,5 a probabilidade para uma resposta de ocorrência de acidentes é alta; se, ao contrário, o valor obtido for menor que 0,5, a probabilidade é considerada baixa. Com menos de 100% de acurácia ocorrem Falsos Positivos (quando o valor simulado apontou para a probabilidade de ocorrência de impacto, mas não houve registros) e Falsos Negativos (quando o modelo apontou para a não ocorrência, mas o impacto aconteceu), que foram computados para a avaliação do desempenho. A Figura 8.4 traz um sumário dos resultados obtidos a partir da aplicação do modelo proposto.

	Treinamento		Validação	
	N	%	N	%
Observados	95	100	25	100
Corretos	78	82	18	72
Falsos Positivos	15	16	3	12
Falsos Negativos	2	2	4	16

Obs.: Conjunto de dados de validação selecionado aleatoriamente do conjunto de dados original.

Figura 8.4 Sumário da performance do modelo RNA
Elaborado pela autora

O modelo RNA apresentou 82% de acurácia para o conjunto de treinamento e 72% para o conjunto de validação, sendo que esta última é a que deve ser considerada para as previsões na área de estudo.

Uma avaliação visual do desempenho do modelo pode ser observada na Figura 8.5, que traz as respostas corretas, os FP e FN para os anos e lugares do conjunto de dados de validação.

As respostas por município mantiveram o nível de acurácia de 72%; já para o ano, a porcentagem caiu para 48%, permitindo observar que o modelo obteve melhor performance em escala espacial para o grupo de validação. Contudo, considerando todo o conjunto de dados, a acurácia foi de 80% para as escalas de anos e municípios.

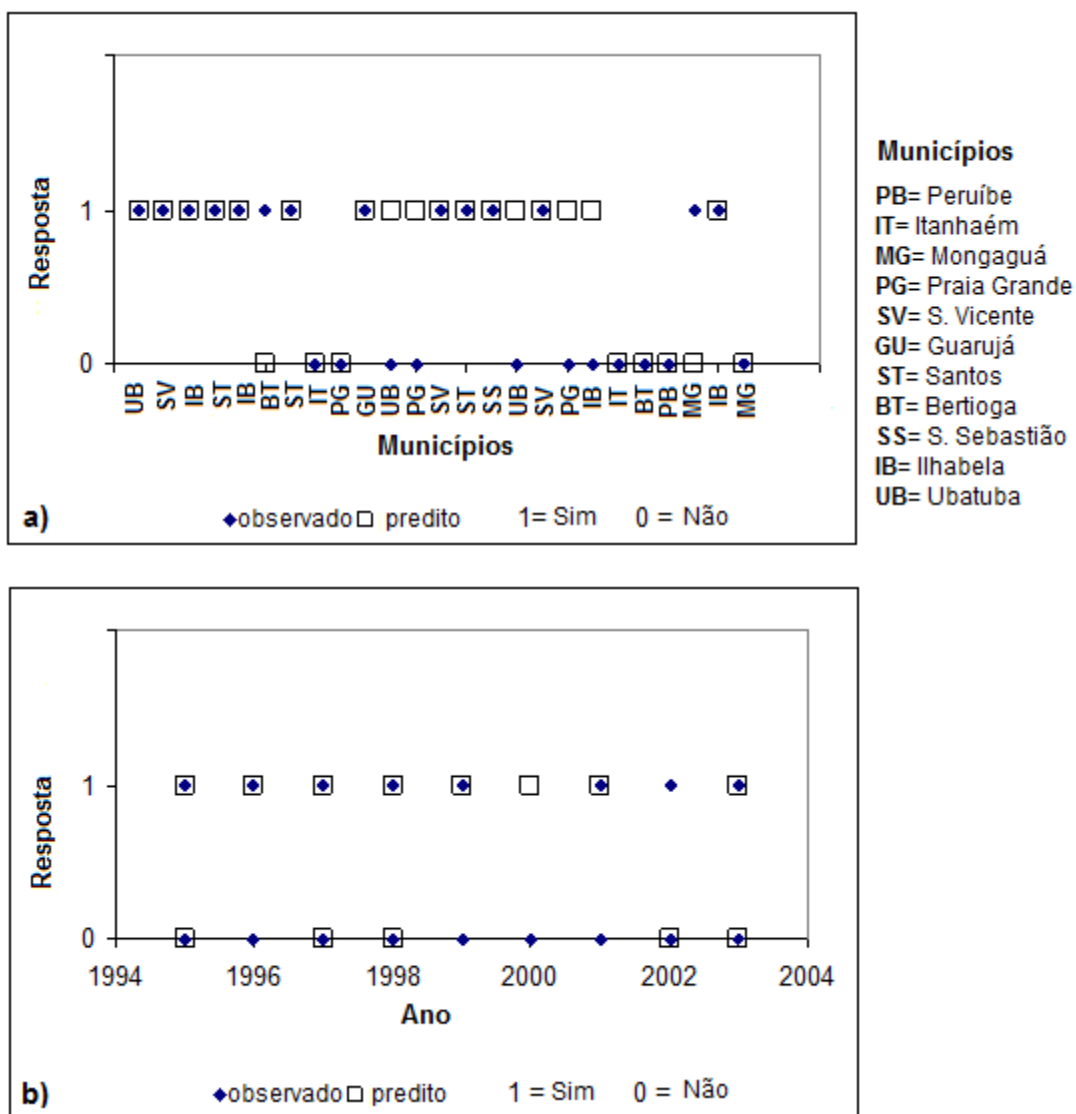


Figura. 8.5 Resposta binária de impacto para o conjunto de validação como função de a) municípios e b) anos.

Elaborado por Andrea Koga-Vicente/ Michael J. Friedel

Aperfeiçoamentos na acurácia podem ser conseguidos por meio da inserção de outras variáveis explanatórias ou dados de maior detalhe espacial e temporal, tendo este modelo a propriedade de ser facilmente atualizado. Ademais, considera-se como satisfatório o desempenho do modelo, em virtude da complexidade das variáveis avaliadas.

8.3.2 Modelo de Regressão Linear Múltipla

Com o objetivo de comparar as abordagens, foi realizada uma modelagem empregando o modelo tradicional empírico de regressão linear múltipla.

Para que seja possível a utilização da regressão linear múltipla, é necessário que todas as variáveis tenham a mesma dimensão, e para este propósito o SOM foi usado para o redimensionamento. Também foi computada a correlação entre as variáveis independentes e a ocorrência de impactos e do nível de significância de cada variável e, a partir destes resultados (Anexo G) foram selecionadas as mais adequadas para composição do modelo:

1. La Niña
2. El Niño
3. Índice de Gini
4. Intensidade da pobreza
5. IDH
6. Homicídios
7. Taxa de urbanização
8. Áreas de risco
9. Densidade demográfica
10. População total
11. Solo nas áreas íngremes
12. Solo na área urbana
13. Solo predominante
14. Precipitação média
15. Declividade média
16. Altitude média

Foram processados os melhores subconjuntos das variáveis estatisticamente significantes, com objetivo de identificar o melhor modelo entre os 16 possíveis (Anexo H) tendo como critério minimizar a variabilidade e o erro. A partir dos critérios descritos, foi selecionado o subconjunto com 12 variáveis.

Desta forma, as variáveis selecionadas como as contribuintes para a modelagem de

acidentes relacionados a episódios pluviais impactantes foram:

ZMd= Altitude média por município

AR= Área de risco

PcpMd= Precipitação Média

UrbT= Taxa de urbanização

SoPrd= Solo predominante

Hm= Homicídios

SoUrb= Solo urbano

IDH= Índice de desenvolvimento humano

SoEs= Solo escarpa

IP= Intensidade da pobreza

PopT= População total

LN= La Niña

Dos doze atributos selecionados mediante o melhor ajuste estatístico, seis foram relacionados aos aspectos físicos e seis a socioeconômicos, ou seja, indica um balanço entre as duas dimensões.

Definido o subconjunto mais adequado, foi conduzida a modelagem por regressão linear multivariada, utilizando as variáveis associadas. Na modelagem os p-valores foram avaliados e as variáveis com p-valores acima de 0,05 foram removidas e o processo repetido. Esse valor indica 5% de probabilidade de que a relação entre a variável componente da modelagem e a variável a ser estimada seja por acaso (FRIEDEL, no prelo).

Foram obtidas quatro equações de regressão que a seguir são apresentadas juntamente com o R^2 e os p-valores acima de 0,05. Maiores detalhes sobre as estatísticas das equações podem ser observadas no Anexo I.

Equação 1:

$$A = - 48.1 + 0.00247 ZMd - 0.00278 PpMd - 0.224 SoPrd + 0.621 SoUrb - 0.264 SoEs + 0.000002 PopT + 0.0485 AR + 0.400 UrbT - 0.00505 Hm + 16.5 IDH - 0.0937 IP + 0.112 LN \quad (5)$$

$$R^2 = 60,5\%$$

Variáveis com p-valores acima de 0,05:

Solo predominante - $p=0,205$ (excluída da análise seguinte)

População total - $p=0,127$

O modelo elaborado explica 60,5% da variância dos dados. As variáveis com p-valores acima de 0,05 foram solo predominante e população total, sendo que as demais apresentaram valores $p=0$. Assim, a variável solo predominante foi removida do modelo e nova análise de regressão foi realizada.

Equação 2:

$$A = -45.3 + 0.00292 ZMd - 0.00244 PpMd + 0.456 SoUrb - 0.205 SoEs + 0.000001 PopT + 0.0461 AR + 0.366 UrbT - 0.00400 Hm + 17.0 IDH - 0.0961 IP + 0.115 LN \quad (6)$$

$$R^2 = 60,4\%$$

Variável com p-valor acima de 0,05:

População total - p-valor=0,226 (excluída da análise seguinte)

Equação 3

$$A = -49.3 + 0.00282 ZMd - 0.00224 PpMd + 0.453 SoUrb - 0.191 SoEs + 0.0477 AR + 0.393 UrbT - 0.00223 Hm + 19.4 IDH - 0.105 IP + 0.117 LN \quad (7)$$

$$R^2 = 60,3\%$$

Variável com p-valor acima de 0,05:

Homicídio - p-valor de 0,074 (excluída da análise seguinte)

Equação 4

$$A = -43.6 + 0.00297 ZMd - 0.00223 PpMd + 0.382 SoUrb - 0.193 SoEs + 0.0420 AR + 0.348 UrbT + 17.6 IDH - 0.101 IP + 0.106 LN \quad (8)$$

$$R^2 = 60,0\%$$

Variável com p-valor acima de 0,05:

Nenhuma variável

Os valores de R^2 indicam que os modelos elaborados foram razoáveis para a avaliação de impactos relacionados a episódios pluviais impactantes na área de estudo, sendo que houve variação mínima no erro quadrado entre eles. Em todos os casos, a Análise de Variância do p-valor foi adequada.

Conforme discutido anteriormente, optou-se pela previsão binária (ocorrência/ não ocorrência de impactos) (Figura 8.6).

	Eq1		Eq2		Eq3		Eq4	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Observados	120	100	120	100	120	100	120	100
Corretos	93	78	97	81	93	78	92	77
Falsos Positivos	23	19	14	12	23	19	14	12
Falsos Negativos	4	3	9	8	4	3	14	12

Figura 8.6 Sumário da performance dos modelos de regressão linear múltipla
Elaborado pela autora

Constata-se que os quatro modelos apresentaram resultados similares nos acertos obtidos. A Equação 2 apresentou o maior número de resultados corretos, chegando a 81%, com 12% de Falsos Positivos e 8% de Falsos Negativos.

Os modelos 1 e 3 tiveram resultados iguais em acertos, FP e FN, com maior porcentagem de FP. O modelo 4, com menor quantidade de acertos, teve iguais FP e FN.

Pode-se considerar que para esta abordagem a equação 2 apresentou melhor performance, e o modelo com menor R^2 teve o resultado menos satisfatório.

Aperfeiçoamentos adicionais no modelo podem ser conseguidos com a incorporação de novos dados, embora a relação altamente não linear entre as variáveis independentes limite o melhoramento da acurácia a partir desta técnica.

Considerações sobre os modelos

A Figura 8.7 mostra uma comparação entre a acurácia dos modelos:

	RML Eq1		RML Eq2		RML Eq3		RML Eq4		SOM Treinamento		SOM Validação	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Corretos	93	78	97	81	93	78	92	77	78	82	18	72
Falsos Positivos	23	19	14	12	23	19	14	12	15	16	3	12
Falsos Negativos	4	3	9	8	4	3	14	12	2	2	4	16
Acurácia	78%		81%		78%		77%		82%		72%	

Figura 8.7 Sumário da performance geral dos modelos propostos

Elaborado pela autora

Os modelos propostos para a área de estudo mostraram desempenho de acurácia entre 72% e 82%, significando que mediante a utilização destes modelos, decisões sobre os problemas relacionados a episódios pluviais impactantes no planejamento municipal anual na Baixada Santista e Litoral Norte teriam de 72% a 82% de probabilidade de estarem corretas, com ocorrência de falsos positivos e falsos negativos.

Considera-se que a performance das modelagens foi satisfatória, levando em conta as restrições impostas pela falta de dados e resolução espacial e temporal das informações, e também em virtude da natureza complexa das relações entre as variáveis.

Aperfeiçoamentos podem ser obtidos mediante a inserção de outras variáveis explanatórias; entretanto, o SOM possui maior possibilidade de responder com melhores resultados, devido à capacidade de “aprender com o ambiente e melhorar seu desempenho”, propriedade inerente das redes neurais.

Capítulo 9

Conclusões

Calamidades deflagradas por chuvas intensas ocorrem todos os anos no Brasil, muitas vezes transformando-se em tragédias, como as que aconteceram em Santa Catarina em 1983, no Rio de Janeiro em 2005 ou em Alagoas 2010. Para a prevenção e minimização dos efeitos destes acontecimentos é fundamental que os gestores considerem medidas de risco no planejamento. Um dos principais requisitos para que medidas mais coerentes sejam tomadas é a posse de informações que possam embasar decisões de forma efetiva e com conhecimento das incertezas inerentes ao processo.

Neste trabalho buscou-se propor e discutir metodologias que incorporem a incerteza na análise da precipitação e dos impactos associados a ela. Considerando uma perspectiva espaço-temporal, foi realizada a análise dos eventos de precipitação que causaram alagamentos, inundações, enchentes e escorregamentos entre os anos de 1994/95 e 2003/04 em 12 municípios da Baixada Santista e Litoral Norte da costa paulista utilizando-se de metodologias probabilísticas (simulação estocástica) e não-lineares (redes neurais).

Inicialmente, foi realizada a investigação da precipitação nas escalas anual e diária, com objetivo de traçar um contexto para a análise dos impactos deflagrados por eventos pluviais. Na análise anual, 1995/96 destacou-se como o ano mais chuvoso do período, com significativas anomalias positivas em toda área, evidenciando sua excepcionalidade, tanto em termos de magnitude de anomalias, quanto em abrangência espacial. Os períodos de 2001/02 e 1996/97 foram os menos chuvosos, com substanciais anomalias negativas. A relação entre as escalas anual e diária não é evidente, podendo ser observados reflexos em 1995/96 (ano mais chuvoso, eventos de grande intensidade) e 2001/02 e 1995/96 (anos menos chuvosos, eventos de menor intensidade), sendo que tal fato foi discutido por Nunes (2008), em análise da precipitação em setor do litoral paulista. Contudo, em 1999/00 os eventos de altos montantes ocorridos na escala diária não incidiram sobre a precipitação anual da área.

A região apresenta eventos de grande magnitude, sendo os de maior intensidade situados nas classes a partir de 300,0mm/24h, chegando a quase 500,0mm/24h em HM/São Vicente.

Considerando os mecanismos responsáveis pela gênese da precipitação, fica evidente a complexidade dos controles que foram atuantes, pois não foi possível estabelecer padrões envolvidos. Houve anos úmidos tanto sob influência de La Niña ou El Niño, bem como anos menos chuvosos. Embora seja bastante evidente a participação dos sistemas frontais como produtores de chuva (MONTEIRO, 1969; CONTI, 1975), a interação destes com a ZCAS e outros fatores locais aparentam ter maior peso que o número de avanços frontais. Desta forma, reitera-se novamente que abordagens para estudos na área devem ser balizadas pelos paradigmas da complexidade e do ritmo, pois mais que a frequência da atuação dos sistemas atmosféricos, a interação entre estes fatores tem mais influência no comportamento anual pluvial na área.

Quanto à variabilidade espacial, a região central da Baixada Santista foi a mais chuvosa em todos os anos, e com baixo grau de incerteza para a interpretação devido à maior cobertura de postos. Entretanto, é importante chamar a atenção para o fato discutido no capítulo 2 sobre a propriedade de suavização da krigagem, o que leva a baixos valores de desvio padrão, e consequentemente, a idéia de baixa variabilidade.

A região entre São Sebastião e Caraguatatuba foi a menos chuvosa, associada à conhecida zona de sombra de São Sebastião, sendo esta também uma área com baixos níveis de incerteza. Ubatuba apresentou a faixa com incerteza mais elevada, pois há apenas um posto representativo para uma grande zona. Entre Caraguatatuba e Ubatuba, e entre São Sebastião e Bertioga, a grande distância entre os postos estabelece áreas de incerteza.

O mapa de desvio padrão permitiu observar áreas com maior/menor incerteza para a interpretação da precipitação, que foi relacionada à distância dos postos, ou seja, áreas sem informação, e serve como apoio, juntamente com outras informações para tomada de decisão. As áreas com maior confiabilidade associada à cobertura de dados correspondem à orla litorânea, onde estão instalados a maior parte dos postos em funcionamento, em especial a região central da Baixada Santista possui cobertura satisfatória. O setor entre Bertioga e São Sebastião é uma das zonas de baixa confiabilidade/ alta incerteza derivada da falta de postos numa distância de 76 km. O extremo leste de Ubatuba configurou-se como uma área de confiabilidade crítica, associada à baixa amostragem, e alto nível de incertezas derivado da extrapolação dos valores, procedimento muito mais incerto que a interpolação. Ressalta-se que a incerteza observada é função apenas da distância entre os postos, mas ainda assim se constitui numa importante

ferramenta adequada para análise conjunta com outras informações.

A investigação dos impactos permitiu observar que estes se concentraram no semestre mais úmido de outubro a março, sendo que janeiro registrou o maior número de ocorrências. Existe um aumento de vítimas em potencial neste período, coincidindo com a alta temporada turística, com aumento expressivo da população flutuante, sendo que em alguns municípios a população chega a triplicar (IBGE, 2009). A análise da duração dos episódios pluviais impactantes mostrou que estes são compostos por chuvas contínuas e com um pico de maior intensidade, variando entre um dia com chuvas fortes, até 15 dias com chuvas intermitentes. A duração mais frequente corresponde a eventos entre 2 e 6 dias, que se concentram nos meses mais úmidos, tendo janeiro com o maior número de eventos, mês de alta temporada turística, o que expõe um maior número de pessoas ao risco.

A maior frequência de episódios pluviais impactantes foi registrada com montantes de até 200,0mm e pode ser relacionada ao comportamento da chuva diária na região, pois a maior quantidade de chuvas em 24h registra-se até a classe de 200,0mm, notando-se diminuição de ocorrências a partir desses valores. Tendo em vista a grande potencialidade que chuvas a partir de 100,0mm têm de provocar impactos na área, a frequência significativa nessas classes aponta para a suscetibilidade do sistema físico e a vulnerabilidade da sociedade local, pois teoricamente os sistemas se encontram em equilíbrio com os valores modais, e essa frequência pode estar relacionada ao desequilíbrio entre sistemas/fatores condicionantes.

O ano de 1999/00 se sobressaiu pelo número de ocorrências e pela abrangência espacial, quando foram registrados impactos desde o extremo sul da área de estudo (Peruíbe) até o norte da região (Caraguatatuba). Outro ponto que chama atenção é que, neste ano, houve impactos mesmo em municípios com baixa frequência de registros: Peruíbe, Itanhaém e Bertioga. O maior número de ocorrências foi observado em Santos e Guarujá.

Não houve ligação entre as escalas dos eventos pluviais impactantes e a anual, a maioria dos postos apresentou chuvas abaixo da média neste ano, incluindo os postos do Guarujá; Santos apresentou totais próximos à média; porém, neste ano houve mais eventos pluviais intensos em 24h, como observado na análise diária. Já 1995/96 foi o ano mais chuvoso no período havendo, então, conexões entre as escalas temporais. O município de São Vicente foi o mais atingido, seguido por Santos e Ubatuba, sendo que mais ao sul, apenas em Peruíbe ocorreram impactos.

Estes anos têm a atuação da La Niña como principal aspecto em comum, em termos de circulação de larga escala tendo havido, também, penetração de sistemas frontais acima da média.

Em termos espaciais Santos e Guarujá apresentaram maior número de ocorrências, e embora os montantes anuais de precipitação não tenham sido os mais elevados, são municípios com expressivas taxas populacionais e de densidade demográfica, resultando em maior adensamento e aumentando a possibilidade de ocupação de áreas de risco. São Vicente, equivalente em termos populacionais, também apresentou números significativos de registros de eventos pluviais impactantes.

Em termos de fragilidade física, expressa pela dinâmica de precipitação e geomorfologia, associada às dimensões humanas, representada principalmente pela taxa populacional, podem ser observadas características bastante distintas.

O setor mais ao sul, compreendendo Peruíbe, Itanhaém e Mongaguá, apresentou as mais baixas frequências de episódios pluviais impactantes, que podem estar relacionados à baixa suscetibilidade física, decorrente da localização em áreas de planície, com menor suscetibilidade a eventos mistos, mas maior a hidrometeorológicos, aliada à baixa densidade populacional, ou seja, menos pessoas expostas ao risco. No entanto, apenas um dos episódios ocorridos em Peruíbe resultou em elevado número de vítimas.

Um segundo setor, com Santos, São Vicente e Guarujá, alia alto grau de suscetibilidade - tendo em vista a maior presença de morros, planícies de alagamento e elevadas alturas pluviais - com alta taxa de população concentrada nas áreas urbanas e ocupando morros, o que resultou em alta frequência de impactos. Além disso, a ocupação desse setor é mais antiga, o que se associa, também, com retirada de vegetação e maiores intervenções, como cortes e acúmulo de águas servidas. Não obstante, o número de vítimas não foi proporcional, principalmente em Santos, sede da região metropolitana da Baixada Santista, podendo indicar maior capacidade de absorver a intensa pluviosidade. Aventa-se também que esse panorama apresentado por Santos esteja estreitamente relacionado às políticas públicas adotadas pela gestão municipal no sentido de envolver a população na prevenção do risco.

Praia Grande e Bertioga constituem-se exceções. O primeiro, com elevada densidade demográfica e baixas declividade e altimetria média, apresentou poucas ocorrências, mas expressivo número de vítimas; já o segundo, apesar da suscetibilidade configurada por altos

montantes pluviais anuais e declividade acentuada, registrou apenas duas ocorrências durante os 10 anos estudados, o que poderia ser atribuído à baixa densidade demográfica.

Os municípios da porção setentrional - São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba - apresentaram maior complexidade física, com elevadas altimetria e declividade médias, e grande amplitude nos totais de precipitação que deflagram impactos, o que aponta para acentuada instabilidade nos sistemas. O número de vítimas foi bastante expressivo nesses municípios, destacando-se Ubatuba, com o maior número de pessoas afetadas.

Conclui-se que, embora a vulnerabilidade seja o cerne do impacto, pois os municípios com maior população registraram mais impactos, a suscetibilidade determinou a magnitude das perdas humanas, representado pelo maior contingente de vitimados observado em Ubatuba.

A partir da simulação estocástica, todos os cenários apontaram para a excepcionalidade de ocorrência de chuvas potencialmente impactantes a partir de 80mm/24h, pois a maior parte da área apresentou baixas probabilidades em todos os cenários.

Bertioga e entorno aparecem em todos os cenários como o setor mais sujeito a chuvas potencialmente impactantes. A zona de mais baixa probabilidade foi apontada como sendo entre São Sebastião, Ilhabela e Caraguatatuba. Destacam-se as regiões entre Peruíbe e Itanhaém como áreas de baixa probabilidade de ocorrência de chuvas potencialmente impactantes e baixos valores de desvio padrão em todos os cenários.

A deriva de exposição de vertentes foi eficiente em capturar a maior probabilidade de ocorrências de chuvas mais intensas em comparação ao setor a sotavento da ilha.

Apesar da inegável relação entre o relevo, e a intensidade e a distribuição da precipitação, a influência em escalas de maior detalhe espacial (1km) e temporal (diária) deve ser observada com cuidado, pois nelas as diferenças acentuam-se e o comportamento desta interação comparece de forma mais caótica e complexa. Assim, associada à grande incerteza aleatória representada pela alta variabilidade da gênese e distribuição da precipitação, há também elevado grau de incerteza epistêmica, derivada das lacunas no conhecimento dos desenvolvimentos modais do fenômeno.

Todos os cenários elaborados com a incorporação de outra variável mostraram um aumento no desvio padrão, não corroborando a hipótese inicial deste trabalho, indicando a necessidade de estudos de escalas de maior detalhe para diminuir as incertezas epistêmicas da relação entre a precipitação e o relevo na região.

Os cenários gerados pela krigagem atendem as necessidades de espacialização dos dados de precipitação, buscando o menor erro em relação aos dados amostrados. No entanto, apresenta restrições quanto a tomada de decisões, sendo que neste quesito os mapas de probabilidade fornecem tanto subsídio para tomadas de decisão frente à iminência de um evento pluvial de grande intensidade, apontando áreas mais suscetíveis à essas chuvas, quanto pode servir como um componente para elaboração de mapas de riscos, associado a outros elementos, tais como mapas hidrológicos.

Tendo em vista que uma calamidade envolve aspectos físicos e humanos, foram selecionadas variáveis explanatórias relacionadas à suscetibilidade e a vulnerabilidade na área, que responderam de forma satisfatória na modelagem.

Utilizando-se o SOM como ferramenta de análise das variáveis observou-se que o atributo áreas de risco é um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de impactos na área de estudo. Essa informação já é bastante conhecida e reforça, novamente, a importância de políticas públicas sérias voltadas para lidar de forma eficiente com a questão. Atualmente não é apenas a parcela mais vulnerável socioeconomicamente que ocupa locais suscetíveis a impactos pluviais: devido a diversos fatores como, por exemplo, a beleza cênica, cada vez mais áreas de relevo movimentado vêm sendo ocupadas pela população de alta renda no litoral, em especial por casas de veraneio, sendo que este panorama torna a resolução do problema ainda mais difícil. No caso do litoral paulista, a maior contribuição do elemento áreas de risco foi associada aos municípios do Litoral Norte, conhecido destino de férias das classes alta e média paulista e mesmo de outros estados da federação, com rápido crescimento da infraestrutura turística. Essa região associou vulnerabilidade (áreas de risco) e suscetibilidade (elevadas altitude e declividade média, desvio padrão da declividade e altitude).

Os municípios do sul da Baixada Santista, com baixo número de registros de impactos, foram agrupados em virtude da baixa densidade populacional e relevo suave.

O SOM foi eficiente em captar as regionalizações já propostas para a região, apontando características já bastante conhecidas e estudadas, e por isso críveis, explicitando que as variáveis foram adequadas para a composição do modelo.

Os modelos apresentaram os seguintes níveis de acurácia:

- a) SOM: 80% para o grupo de treinamento e 72% para o conjunto de validação;

- b) Regressão Linear Múltipla: 78% para a Eq1, 81% para a Eq2, 78% para a Eq3 e 77% para a Eq4.

Avalia-se que a performance foi satisfatória e melhoramentos adicionais podem ser obtidos pela seleção de novas variáveis explanatórias, sendo que o SOM apresenta maior potencial de melhoramentos em virtude da abordagem neural, com estrutura baseada em aprendizagem.

É importante ressaltar que a modelagem tem caráter local, ou seja, desde a seleção das variáveis ao processamento foi realizada tendo como alvo a área de estudo, e as discussões realizadas devem ser usadas como parâmetros para a elaboração de modelagens que integrem características dos lugares. Assim, recomenda-se que não seja “transplantada” simplesmente para outros locais, que certamente terão componentes e interações diferenciadas, mas antes que sejam realizados estudos prévios para a seleção das variáveis, para obtenção de previsões acuradas.

Reitera-se que esta análise é relativa ao período de 1994/95 a 2003/04, abrangendo recorte temporal relativamente curto, que contempla apenas parte da dinâmica dos episódios pluviais impactantes na área, de modo que as discussões realizadas devem ser consideradas sob este aspecto. Neste contexto, é interessante estender o estudo para período mais longo de análise, com o objetivo de se alcançar conclusões mais gerais o que esbarra, todavia, com a falta de dados, pois um dos maiores desafios desta pesquisa foi a falta de dados, tanto no que tange à baixa cobertura de postos pluviométricos, sendo que muitos foram desativados na década de 1980, quanto à dificuldade de obtenção de informações sobre os impactos.

Diante deste quadro, buscou-se um balanço entre a cobertura espacial e temporal, no intuito de contemplar dentro do possível, os dois aspectos.

As principais fontes de incerteza espacial nesta abordagem estão associada à (i) baixa cobertura de postos, e pode ser diminuída com a um adensamento da rede de coleta, como medida para estudos futuros; (ii) a grande complexidade geoecológica da área que acrescenta incertezas nascidas da variabilidade do fenômeno em sua interação com a superfície, que pode ser sanada com a investigação das relações entre a atmosfera e a superfície em escala local.

Considera-se que a incorporação das incertezas em estudos de impactos relacionados às precipitações intensas pode ser uma ferramenta de grande auxílio no planejamento e gestão de riscos na escala municipal, contribuindo para a prevenção e minimização de prejuízos humanos e econômicos frente à essas ocorrências.

A elaboração deste trabalho mostrou que alguns aspectos podem ser explorados em

análises futuras: o detalhamento para o nível local do impacto possibilitaria observar, em cada caso, a especificidade e peso das variáveis para a deflagração de cada impacto; o acoplamento do modelo de previsão de risco com modelos de previsão de precipitação, permitindo melhor resolução para a escala diária; há necessidade de aprofundar o estudo das relações entre a precipitação e os elementos da superfície, tais como declividade, altimetria, exposição de vertentes e cobertura da terra, gerando uma variável síntese a ser usada como deriva externa nas simulações de precipitação. Sobretudo, faz-se extremamente necessário um banco de dados de impacto padronizado, que permita observar tendências espaciais e temporais das ocorrências calamitosas e os elementos que contribuem para a suscetibilidade e vulnerabilidade de cada local.

ANEXOS

ANEXO A – Precipitação total e média anual por posto para os municípios da Baixada Santista e Litoral Norte

Posto	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	Altitude	Média
PB	2301.9	2840.6	1702.3	2469.1	2042.9	1653.7	1499.1	1149.1	1467.3	1773.3	3	1889.9
IT	2095.7	2942.7	1637.3	2667.9	2203.4	1657.1	2198.0	1678.5	2134.3	2981.1	3	2219.6
MG	3474.1	4135.3	2224.2	3466.2	3336.1	2439.8	2517.5	1694.5	1805.6	2331.1	20	2742.4
MV	3200.1	3774.0	2052.3	3234.2	2972.1	2468.2	2511.7	2002.8	2165.5	2791.3	10	2717.2
HM	2708.5	2759.5	1728.7	2264.7	1881.6	2524.8	1863.8	1704.7	1839.0	1846.6	10	2112.2
PQ	1707.0	2854.5	1383.4	1930.3	1938.9	1864.1	2140.1	1650.8	1815.6	2065.4	3	1935.0
PT	2512.7	2571.8	1618.5	2028.3	2223.2	1755.5	2137.1	1601.1	1781.6	2059.6	3	2028.9
CT	3597.2	4230.2	2333.0	3390.4	3325.8	3187.2	2362.7	2389.2	2953.6	3406.8	200	3117.6
UI	3003.5	3778.5	2508.4	3599.2	3139.2	3089.6	2494.6	2947.0	2640.9	3348.4	10	3054.9
RI	4312.5	5399.4	3338.5	4921.2	4573.1	3961.7	2211.6	2941.9	4124.4	4258.5	720	4004.3
SF	1642.8	1952.6	1050.2	1424.1	1237.4	1096.3	752.5	949.9	1065.0	1192.4	20	1236.3
IB	1646.4	2242.5	642.9	1367.9	1341.2	1540.5	1129.4	1040.0	1458.0	1633.9	10	1404.3
CR	1845.2	2537.2	1635.2	2056.5	1924.9	1519.3	1306.6	1164.2	1475.1	1579.4	20	1704.4
MD	2821.2	3869.7	2297.0	3558.1	2816.4	2248.5	1831.9	1912.5	2240.1	3211.8	220	2680.7
Média	2545.3	3296.7	1912.0	2821.2	2505.4	2242.7	1621.1	1825.9	2167.3	2537.4	2347.5	

Fontes: DAEE (coleta) / CEPAGRI (consistência)

ANEXO B – Sistemas atmosféricos atuantes no período estudado

Condições mensais do ENOS entre 1994/95 a 2003/04

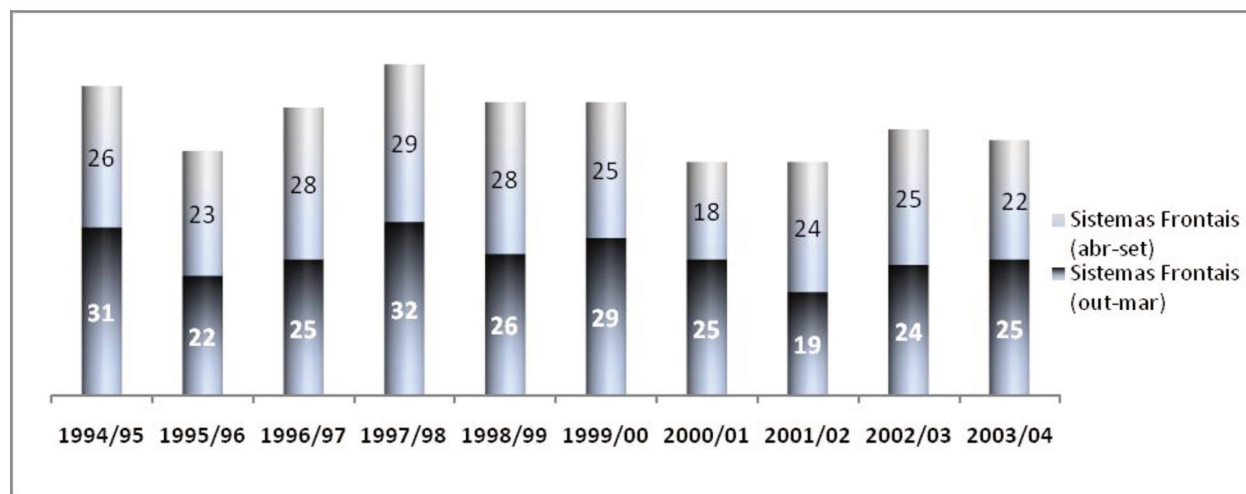
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1994/95	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	x	x	x	x	x	x
1995/96	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1996/97	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1997/98	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	x	x	x	x
1998/99	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1999/00	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2000/01	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	x	x	x	x	x	x
2001/02	x	x	x	x	x	x	x	x	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2002/03	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	x	x	x	x	x	x	x
2003/04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fontes: Boletim Climanálise; OLIVEIRA e SATYAMURTY, 2005

Frequência de ZCAS configuradas na área de estudo

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	ZCAS / ano
1995/96	0	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	6
1996/97	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3
1997/98	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1998/99	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1999/00	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2000/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001/02	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
2002/03	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2003/04	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Média													3

Fonte: Boletim Climanálise
Frequência média sazonal de avanço de sistemas frontais entre 1994/95 a 2003/04

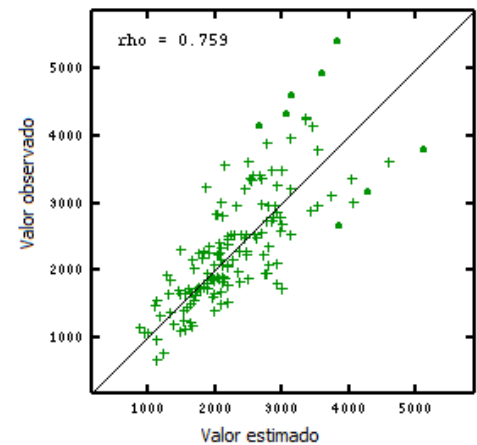


Fontes: Boletim Climanálise / Cartas Sinótica da Marinha do Brasil.

ANEXO C – Parâmetros utilizados na elaboração do modelo de variograma para a krigagem da precipitação anual

Variograma Experimental		Modelo do Variograma	
Distância do passo	8000	Modelo	Linear
Número de passos	06	Amplitude	642119.97
		Erro padrão	0.001

Parâmetros utilizados para o ajuste do modelo de variograma utilizado na krigagem da precipitação anual.



Validação cruzada do modelo de interpolação utilizado na precipitação anual

ANEXO D – Estatísticas para a precipitação diária

Estatística descritiva da precipitação diária

	N	Min	Máx	Média	Q25	Q50	Q75
PB	3653	0.0	229.4	5.2	0.0	0.0	3.2
IT	3653	0.0	195.7	6.1	0.0	20.0	4.4
MG	3653	0.0	308.0	7.5	0.0	0.0	6.5
MV	3653	0.0	206.0	7.4	0.0	0.0	5.9
HM	3653	0.0	465.3	5.8	0.0	0.0	3.9
PQ	3653	0.0	184.5	5.3	0.0	0.0	4.0
PT	3653	0.0	220.0	5.5	0.0	0.0	3.8
CT	3653	0.0	225.7	8.5	0.0	0.3	4.0
UI	3653	0.0	313.6	8.4	0.0	0.2	6.3
RI	3653	0.0	270.3	11.0	0.0	0.8	10.3
SF	3653	0.0	124.8	3.4	0.0	0.0	1.2
IB	3653	0.0	217.3	4.1	0.0	0.0	2.3
CR	3653	0.0	140.6	4.7	0.0	0.0	4.0
MD	3653	0.0	442.7	7.3	0.0	0.0	7.0

Fontes: DAEE (coleta) / CEPAGRI (consistência)

	Min	Q1	Q2	Q3	Máx
Dados originais	0,0	1,1	9,9	30,4	465,3
Krigagem	-9,0	4,9	13,9	30,6	383,9
Simulação (apenas chuva)	0,0	0,7	8,7	29,1	465,3
Simulação (chuva e altimetria)	0,0	0,9	10,9	37,4	465,3
Simulação (chuva e declividade)	0,0	0,1	7,4	28,6	465,3

ANEXO E – Estatísticas comparativas entre os dados originais, gaussianos e gaussianos desagrupados.

Estatísticas comparativas entre os dados originais, gaussianos e gaussianos desagrupados.

	N	Min.	Máx.	Média	Variância
Variável Original	4494	0,0	465,3	23,1	35,5
Variável Gaussiana	4494	-3,6	3,6	0,0	1,0
Variável Gaussiana Desagrupada	4494	-3,7	3,5	0,0	1,0

ANEXO F – Parâmetros do variograma experimental e do modelo ajustado

Parâmetros do
experimental.

Valor do passo	Número de passos	Direção
9,4km	8	17,5°

variograma

Parâmetros do

Estrutura	Modelo	Amplitude	Patamar
1	Esférico	38,1km	0,51
2	Efeito pepita	0,1	---

modelo ajustado.

ANEXO G – Níveis de correlação e significância entre as variáveis componentes e a ocorrência de impactos

Variável	Correlação
LN	0,236
EN	-0,035
IG	-0,016
PI	-0,073
IDH	0,478
Hm	0,471
UrbRT	0,100
AR	0,497
DD	0,412
PopT	0,551
Haz	1,000
SoEs	-0,312
SoUrb	-0,200
SoPrd	-0,082
PcpMd	-0,117
DcvMd	0,234
ZMd	0,264

ANEXO H- Melhores subconjuntos para a equação de regressão

[illegible]

ANEXO I- Estatísticas das equações de regressão linear múltipla

EQUAÇÃO 1

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-48,074	6,13	-7,84	0
Zavg	0,002475	0,000537	4,61	0
PcpAvg	-0,00278	0,00059	-4,71	0
SoPrd	-0,2245	0,177	-1,27	0.205
SoUrb	0,621	0,1578	3,94	0
SoHill	-0,26417	0,07097	-3,72	0
PopT	1,8E-06	1,17E-06	1,53	0.127
RskA	0,048458	0,005763	8,41	0
UrbR	0,40041	0,05472	7,32	0
Crim	-0,00505	0,002088	-2,42	0.016
HDI	16,504	2,611	6,32	0
PovInt	-0,09371	0,01199	-7,82	0
NinaS	0,11207	0,03171	3,53	0

S = 0.612386 R-Sq = 60.0% R-Sq(adj) = 59.4%

Análise de Variância

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	12	300,912	25,076	67,28	0
Residual Error	527	196,419	0,373		
Total	539	497,331			

ANEXO I (continuação)- Estatísticas das equações de regressão linear múltipla

EQUAÇÃO 2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-45.255	5.716	-7.92	0
ZMd	0.002917	0.000409	7.14	0
PcpMd	-0.00244	0.000527	-4.63	0
SoUrb	0.45579	0.08915	5.11	0
SoEs	-0.20515	0.05362	-3.83	0
PopT	1.36E-06	1.12E-06	1.21	0.226
AR	0.046125	0.005465	8.44	0
UrbT	0.36628	0.04767	7.68	0
Hm	-0.004	0.001918	-2.08	0.038
IDH	16.995	2.584	6.58	0
IP	-0.09612	0.01184	-8.12	0
LN	0.11514	0.03164	3.64	0

S = 0.610852 R-Sq = 60.4% R-Sq(adj) = 59.6%

Análise de Variância

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	11	300,313	27,301	73.17	0
Residual Error	528	197,018	0,373		
Total	539	497,331			

ANEXO I (continuação)- Estatísticas das equações de regressão linear múltipla

EQUAÇÃO 3

Predictor	Coef	SE	T	P
Constant	-49,29	4,649	-10,6	0
ZMd	0,002822	0,000401	7,03	0
PcpMd	-0,00224	0,0005	-4,48	0
SoUrb	0,45328	0,08917	5,08	0
SoEs	-0,19082	0,05232	-3,65	0
AR	0,047736	0,005303	9	0
UrbT	0,39272	0,04241	9,26	0
Hm	-0,00223	0,001247	-1,79	0,074
IDH	19,395	1,661	11,68	0
IP	-0,10522	0,009163	-11,48	0
LN	0,11656	0,03163	3,69	0

S = 0.611123 R-Sq = 60.3% R-Sq(adj) = 59.5%

Análise de Variância

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	10	299,765	29,976	80,26	0
Residual Error	529	197,566	0,373		
Total	539	497,331			

ANEXO I (continuação)- Estatísticas das equações de regressão linear múltipla

EQUAÇÃO 4

Predictor	Coef	SE	T	P
Constant	-43,583	3,386	-12,87	0
Zavg	0,002966	0,000394	7,53	0
PcpAvg	-0,00223	0,000501	-4,44	0
SoUrb	0,38192	0,07989	4,78	0
SoHill	-0,19313	0,05241	-3,68	0
RskA	0,042035	0,004245	9,9	0
UrbR	0,34759	0,03414	10,18	0
HDI	17,608	1,329	13,25	0
PovInt	-0,10126	0,008908	-11,37	0
NinaS	0,10638	0,03118	3,41	0,001

S = 0.612386 R-Sq = 60.0% R-Sq(adj) = 59.4%

Análise de Variância

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	298,572	33,175	88,46	0
Residual Error	530	198,759	0,375		
Total	539	497,331			

Capítulo 11

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A.N. **Os domínios da natureza no Brasil**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ABRAMOVAY, M.; CASTRO, M.G.; PINHEIRO, L.C.; LIMA, F.S.; MARTINELLI, C.C. Juventude, violência e vulnerabilidade social na América Latina: desafios para políticas públicas. Brasília: UNESCO, 2002. 92p.
- ABRAMS, M.; HOOK, S. J. **Aster User Handbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer**. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, v. 2, 2002, 135p.
- ANDERS, A.M.; ROE, G.H.; HALLET, B.; MONTGOMERY, D.R.; FINNEGAM, N.J.; PUTKONEM, J. Spatial patterns of precipitation and topography in the Himalaya. *In*: WILLET, S.D.; HOVIUS, N.; BRANDON, M.T.; FISHER, D. ed. **Tectonics, Climate and Landscape Evolution: Geological Society of America Special Paper 398**, 2006, p. 39-53.
- ANDRADE, K.M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- INPE, São José dos Campos. 2005.
- APEL, H.; THIEKEN, A.H.; MERZ, B.; BLÖSCHL, G. Flood risk assessment and associated uncertainty. **Natural hazards and Earth system science**, vol. 4, n.2, p.295-308, doi:10.5194. abr. 2004
- BABISH, G. **Geostatistics without tears: a practical guide to Surface interpolation, Geostatistics, variograms and Kriging**. Saskatchewan/Canadá: Ecological Research. 2006. 116p.
- BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather and climate**. London: Methuen, 1968. 319p.
- BARROS, A.P.; LETTENMAIER, D.P. Dynamic modelling of spatial distribution of precipitation in remote mountainous areas. **Monthly Weather Review**, v.121, p.1195-1214. Abr. 1993.
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.M.; LÓPEZ-MORENO; GUACÍA-RUIZ, J.M. Annual and seasonal mapping of peak intensity, magnitude and duration of extreme precipitation event across a climatic gradient, northeast Spain. **International Journal of Climatology**, v.29, n.12, p.1759-1779. Dez. 2008.
- BENICHO, P.; LE BRETON, O. Use of topography on mapping of statistical rainfall fields. *La Météorologie*, 7th Series, n. 19. 5-308. 1997. p. 23-24.

BLANCO, C.M. **Processos de intensificação orográfica da precipitação na Serra do Mar em São Paulo**. 1999. 158p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. At risk: Natural Hazards, people's vulnerability, and disasters. Londres: Routledge. 1994.

BOHLING, G. **Stochastic simulation and reservoir modeling workflow**. Kansas: Kansas Geological Survey, 2005. 20p.

BOLETIM CLIMANÁLISE, Cachoeira Paulista/SP: CPTEC/INPE, 1995-2004. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>> Acesso em: 10 set. 2009.

BOTCHEN, R.P.; WEISKOPF, D.; ERTL, T. Interactive visualization of uncertainty in flow fields using texture-based techniques. 12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOW VISUALIZATION, 10 – 14 set. 2006, Göttingen/Alemanha. *Anais...* p. 1-12.

BRADLEY, S.G.; DIRKS, K.N.; STOW, C.D. High resolution of rainfall on Norfolk Island, Part III: a model for rainfall redistribution. **Journal of Hidrology**, v.208, 3-4 , p.194-203, jul. 1998.

BRANCO, S.M. **A Serra do Mar e a Baixada**. São Paulo: Moderna, 1993. 80 p.

BRITO, D.C.; RIBEIRO, T.G. Modernização na era das incertezas: crise e desafio da teoria social. **Ambiente e Sociedade**, v.5, n.2, p. 147-164 , ago./dez. 2002.

CANDIDO, D.H., NUNES, L.H. Influência da orografia na precipitação em uma porção do interior paulista. **Revista Geosp** v. 24, p. 8-27, 2009. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/geosp/Geosp24/index.html>>

CANELLAS, C.; MERLIER, C. Evaluation and mapping of precipitation extremes values. **Crues et inondations**, v.1, p. 131-136. 1994.

CAPRA, F. **O ponto de mutação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 447p.

CARVALHO, L.I.V.C.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the south Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v.15, n.17, pg 2377-2385, set/2002.

CARVALHO, L.I.V.C.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p.88-108, jan/2004.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. Drought in Brazil during Summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Revista Climanálise**, v.2, n.1, novembro/2001.

CAVALCANTI, I.F.A.; CERQUEIRA, F.A.; ROZANTE, J.R. 2006. Caso extremo de precipitação com ocorrência de deslizamento na serra do mar. XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Florianópolis, **Proceedings....** <Disponível em <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17%4080/2006/12.19.17.28/doc/Cavalcanti.Caso.pdf> > Acessado em 14 de novembro de 2008.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* (Org.) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p.135-148. 2009.

CHAUBEY, C.I.; HAAN, C.T.; GRUNWALD, S.; SALISBURY, J.M. Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall. **Journal of hydrology**. v.220 , 1-2 , 48-61, jun.1999.

CHAUÍ, M. **Convite á Filosofia**. São Paulo: Ed. Ática, 2001. 440p.

CHILÉS, J.P.; DELFINER, P. **Geostatistics**: modeling spatial uncertainty. New York: John Wiley & Sons, 1999. 695p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher: FAPESP, 1981. 313p.

COELHO, C.A.S.; UVO, C.B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and applied Climatology**, v. 71, n. 3-4, p.185-197, fev/2002.

CONTI, J.B. **Circulação secundária e efeitos orográficos na gênese das chuvas na região nordeste paulista**. 1975. 82p. Tese (Doutorado em Geografia), Série Teses e Monografias, IGEOG-USP: São Paulo, n.18.

CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. Geoecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J.L.S.(org) **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2003. p. 67-198.

COOKE, R.M. **Experts in uncertainty**: opinion and subjective probability in Science. New York: Oxford University Press, 1991. 317p.

COSTA, A.C.; DURÃO, R.; PEREIRA, M.J.; SOARES, A. Using stochastic space-time models to map extreme precipitation in southern Portugal. **Natural Hazards and Earth Sciences**, v. 8, n.4, p. 763-773, jul/2008.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e o litoral na area de Caraguatatuba-SP** : contribuição a geomorfologia litoranea tropical. 1974. 181p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1974.

DIMITRAKOPOULOS, R.; LUO, X. Generalized Sequential Gaussian Simulation on group size v and screen-effect approximations for large field simulation. **Mathematical Geology**, vol.36, n.5, p.567-591, jul/2004.

DAO, H.; PEDUZZI, P. Global evaluation of human risk and vulnerability to natural hazards. **Enviro-info**, v.I, p. 435-446, 2004.

DULAL, K.; TAKEUCHI, K.; ISHIDAIRA, H. A framework for the analysis of uncertainty in the measurament of precipitation data: a case study for Nepal. **Agricultural Engineering International** vol. VIII, p. 1-16, set/2006.

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: zonas frontais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.15, n.2, p. 57-72, 2002.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; DIAS, M.A.F.S. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.1, p.89-98, jun/2004.

FERSON, S.; GINZBURG, L.R. Different methods are needed to propagate ignorance and variability. **Reliability Engineering and System Safety**, vol. 54, 2-3, p.133-144, nov-dez/1996.

FRASIER, S. COMMONWEALTH Scientific and Industrial Research Organization (CSRIO). Earth Science and Resource Engineering/SiroSOM, 2009.

FRIEDEL, M. J. Reliability in estimating urban groundwater recharge through the Vadose Zone. In: TELLAM J.H. et al. editores. **Urban Groundwater Management and Sustainability**. Dordrecht, 2006. NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences, Springer, vol. 74, 169-182.

FRIEDEL, M. J. Predicting post-fire debris flow volumes and their uncertainty using data mining knowledge discovery, and inverse estimation techniques. **Journal of Hidrology**. No prelo.

FRIEDEL, M. J.; SOUZA FILHO, O.F.; YOSHINAGA, S.P.; SILVA, A.M.; Predicting well yield in northeastern Brazil from hydrogeologic and airborne geophysical measurements using self organizing maps, genetic programming, and uncertainty analysis. **Journal of Hidrology**. No prelo

GOODCHILD MF, CASE TJ. Introduction. In: HUNSAKER CT, GOODCHILD MF, FRIEDL M.A., CASE TJ. editores. **Spatial uncertainty in ecology**: implications for remote sensing and GIS applications. New York: Springer-Verlag. p 3–10, 2001.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York; Oxford: Oxford University, 1997. 483p.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 228, p.113-129, fev/2000.

GRIMM, A.M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* (org.) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.353-372.

HAGGETT, P. **Locational Analysis in Human Geography**. London: Edward Arnolds Publishers Ltda. 1965. 339 p.

HEISENBERG, W. **Física e Filosofia**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 1981. 149 p.

HENLEY, E. J. & KUMAMOTO, H. **Reliability Engineering and Risk Assessment**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981.

HENZ, J.F. An operational technique of forecasting thunderstorms along the lee slopes of a mountain range. **Journal of applied Meteorology**, v.11, p.1284-1292, 1972.

HEVESI, J.A.; ISTOK, J.D.; FLINT, A.L. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate Geostatistics. Part I: structural analysis. **Journal of applied Meteorology**, vol. 31, p.661-676, 1992.
. 1997.

HEWITT, K. Regions of risk: a geographical introduction to disasters. Reino Unido: Longman

HORA, S.C. Aleatory and epistemic uncertainty in probability elicitation with an example from hazardous waste management. **Reliability Engineering and System Safety**, v.54, p.217-223, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades@**. Apresenta informações socioeconômicas sobre os municípios brasileiros. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 de março de 2009.

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

JAKOB, A.A.E. **Análise sócio-demográfica da constituição do espaço urbano da Região Metropolitana da Baixada Santista no período 1960-2000**. 2003. 220p. Tese (Doutorado em Demografia). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2003.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, Ch.J. **Mining geostatistics**. London, New York: Academic Press. 1978, 600p.

JAGER, H. I.; KING, A.W. Spatial Uncertainty and Ecological Models. **Ecosystems**, v.7, p.841–847, 2004.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.4, p. 201-214, 1986.

KLIMESOVÁ, D.; OCELÍKOVÁ, E. Spatial data uncertainty management. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. XXXVII, p. 209-212, 2008.

KODAMA, Y. M., Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part-t: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v.70, n.4, p. 813-835, ago/1992.

KOHONEN, T. **Self-organization and associative memory**, Berlin: Springer-Verlag, 1989. 312p.

KOHONEN, T. **Self-organizing maps**, Berlin: Springer-Verlag. 2001. 501p.

KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKY, C.F. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, n.2, p. 37-45, jun./dez. 1989.

LAVE, L.B.; APT, J. Planning for natural disasters in a stochastic world. **Journal of Risk and uncertainty**, v.33, p.117-130, 2006.

LOPES, J.L. A imagem física do mundo: de Parmênides a Eistein. **Cadernos Spinozianos / Estudos sobre o século XVII**. São Paulo: Departamento de Filosofia da FFLCH-USP, v.12, n.5 p. 65-62 , jul-dez/2008.

MONTEIRO, C.A.F. **Análise ritmica e as chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico em forma de atlas. São Paulo: IGEOG-USP, 1973. 129p.

MARCELINO, E.V; NUNES, L.H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de Risco de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n.17, p. 72-84, fev/ 2006.

MILANESI, M.A. **Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela – SP)**. 2007. 150p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). USP/FFLCH/DG, São Paulo, 2007.

MINDER, J.R.; DURRAN, D.; ROE, G.H.; ANDERS, A.M. The climatology of small-scale orographic precipitation over the Olympic Mountains: Patterns and processes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 134, p. 817-839. 2008.

MORGAN, M.G.; HENRION, M. **Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy**. Cambridge: Cambridge University Press. 1990. 330 p.

MOWRER, T.H. Uncertainty in natural resource decision support systems: sources, interpretation, and importance. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.27, p. 139-154, 2000.

NEWMAN, T.S.; LEE, W. On visualizing uncertainty in volumetric data: techniques and their evaluation. **Journal of Visual Languages and Computing & Computing**, v.15, p. 463–491, 2004.

NIMER, E. **Cimatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421p.

NOBRE, C.A.; RENNO, N.O. Droughts and floods in South America due to the 1982-83 El Niño/Southern Oscillation episode. **Proceedings of 16th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology**. AMS 14-17 May. Houston, Texas, p. 131-133. 1985.

NORTHROP, F.S. Introdução aos problemas da filosofia natural. In: HEISENBERG, W. **Física e Filosofia**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília. 1981. 149 p.

NUNES, L.H. **Impacto pluvial na Serra de Paranapiacaba e Baixada Santista**. 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

NUNES, L.H. Relação entre precipitação anual e altimetria no Estado de São Paulo. SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, São Paulo, Anais..., S. Paulo, p. 407-413. 1993

NUNES, L.H. **Distribuição espaço-temporal da pluviosidade no Estado de São Paulo: variabilidade, tendências, processos intervenientes.** 1997. 192p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

NUNES, L.H. O papel da mídia na difusão da informação climática: o El Niño de 1997-98. **Geografia**, v.32, n.1, p.29-50, 2007

NUNES, L. H.; Critérios para a definição de eventos extremos - estudo de caso para o litoral central paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8, 2008, Alto Caparaó, MG, p. 295-311 (CD ROM).

OLEA, R.A. **Geostatistical glossary and multilingual dictionary.** New York; Oxford: Oxford University, 1991. 177p.

OLIVEIRA, M.L. **Análise das incertezas envolvidas na modelagem de reservatórios no contexto geostatístico.** 1997. 116p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.

OLIVEIRA, G.S.; SATYAMUTRITY, P. O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil. Disponível em <http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401915/2005/03.21.18.30/doc/Oliveira_O%20El%20nino%20de%201997_98.pdf> Acessado em

PANG, A. T. **Visualizing Uncertainty in Geo-spatial Data.** In: WORKSHOP ON THE INTERSECTIONS BETWEEN GEOSPATIAL INFORMATION AND INFORMATION TECHNOLOGY, prepared for the National Academies committee of the Computer Science and Telecomm unifications Board, 2001.

PANG, A.T.; WITTENBRINK, C.M.; LODHA, S.K. Approaches to uncertainty visualization. **The Visual Computer**, v.13, p. 370-390, 1997.

PARK, C.C. **Environmental hazards.** London: Macmillan Education, 1991. 62p.

PATÉ-CORNELL, M.E. Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 54, p. 95-111, 1996.

PAULA, M.F. Bacon e Spinoza: a ciência, para que serve? **Cadernos Spinozianos / Estudos sobre o século XVII.** São Paulo: Departamento de Filosofia da FFLCH-USP, v.20, p. 65-62 , jul-dez/2008.

PEREIRA, P.R. e NUNES, L.H. A distribuição das chuvas e os problemas ambientais no município de São Sebastião, Estado de São Paulo, Brasil In: ENCUESTRO DE

GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 6, 1997, Buenos Aires, **Resumenes...**, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, p.210.

PHILLIPS, D.L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, p. 119-141, 1992.

PHILLIPS, D.L.; MARKS, D. Spatial uncertainty analysis: propagation of interpolation errors in spatially distributed models. **Ecological Modelling**, v. 91, p. 213-229, 1996.

PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 58, 2006.

RAO, K. S. Validation of digital elevation model derived from shuttle radar topography mission using GPS fields measurements. Disponível em <www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/mao03033.abs>, acessado em 19 janeiro 2007.

REMACRE, A.Z.; SACANI, S.S. **Simulações Estocásticas**. Notas de aula. 2005.

REMACRE, A.Z. **Simulações Estocásticas**. Notas de aula, 2005.

ROCHA, A. M.G. C.; GANDU, A. W. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, São José dos Campos (SP), v. Esp, p. 140-142, 1996.

ROE, G. H. Orographic precipitation. **Annual Review of Earth Planetary Science**, n.20, p.645-671, 2005.

ROE, G. H.; BAKER, M.B. **Microphysical and geometrical controls on the pattern of orographic precipitation**. *Journal of atmospheric science*, v.63, n.3, p.861-880, 2006.

ROSEGHINI, W.F.F. **Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócio-ambiental no litoral norte paulista**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia). UNESP, Presidente Prudente. 2007.

ROSS, J.L.S. (org) **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2003. 549p.

ROWE, W.D. Understanding uncertainty. **Risk Analysis**, v. 14, p. 743-750, 1994.

RUBANO, D.R.; MOROZ, M. A dúvida como recurso e a geometria como modelo: René Descartes. IN: ANDERY, M.A.P.A.; MICHELETO, N.; SÉRIO, T.M.A.P. **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. São Paulo: EDUC, 2004. 436p.

SAMSON, S.; RENEKE, J.; WIECEK, M.M. A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 94, p. 558– 567, 2009.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Ritmo climático e gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1990.

SANTOS, E. O. Características climáticas. In: **A Baixada Santista** – aspectos geográficos. As Bases físicas. v.1. São Paulo, 1965. p.95-150.

SERRA, A. Climatologia do Brasil 3: Climatologia da América do Sul, Geografia e História - Massas de ar. **Boletim Geográfico**: Rio de Janeiro, v.33, n.245, p. 43-95 , abr/jun de 1975.

SIMPSON, J.E. Gravity currents in the environmental and laboratory. New York: John Wiley, 1979. 224p.

SMITH, R.B. The influence of mountains on the atmosphere. **Advances in Geophysics**, v.21. p.87-230, 1979.

SMITH, R.B. The influence of the Earth's Rotation on mountain wave drag. **Journal of the atmospheric sciences**, v.36. p.177-180, 1979.

SMITH, R. B. Progress on the theory of orographic precipitation. In: WILLETT, S.D.; HOVIUS, N.; FISHER, D.M. Tectonics, Climate, and Landscape Evolution: Geological Society of America Special Paper 398, Penrose Conference Serie, p.1-16. 2006.

SOUZA, R.S. Políticas públicas e violência. Democracia Viva, out/dez. 2006. Disponível em <<http://www.ibase.org.br/modules.php?name=Conteudo&pid=1691>> Acessado em setembro de 2010.

SOUZA JR, S.B.; NUNES, L.H.; SATYAMURTY, P. Precipitação intensa no setor central da Serra do Mar: o caso de Cubatão no dia 06 de fevereiro de 1994. II SIBRADEN – Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, Santos, CD Room, 10p., 2007.

STEINMAYER, M. Extração de Modelos Digitais de Terreno com o sensor Aster. **Infogeo**, n.38, p. 38-39, 2003.

SUN G.; RANSON, K. J.; KHARUK, V. I.; KOVACS, K. Validation of surface eight from Shuttle Radar Topography Mission using shuttle laser altimeter. **Remote Sensing of Environment**, n. 88, p. 401-411, 2003.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E.; ROCHA, M. C. M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do Mar, Mun. de Cubatão. 5º CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA. ENGENHARIA, ABGE, São Paulo: 225-236, 1987 a.

TATIZANA, C., OGURA, A. T.; CERRI, L. E.; ROCHA, M.C. M. (1987b) Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar, município de Cubatão. 5º CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA. ENGENHARIA, ABGE, São Paulo: 237-248, 1987b.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Eventos Extremos de Precipitação na Região da Serra do Mar. Parte I: Descrições Estatísticas da Precipitação Diária. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais** do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: SBMET, 2006.

THOMAS, K. **O homem e o mundo natural**: mudanças de atitudes em relação às plantas e aos animais, 1500/1800. São Paulo: Cia das Letras, 1988. 454p.

TOBLER, W. A transformational view of Cartography. *The American Cartographer*, v.6, p.101-106, 1979.

UNITED Nations Development Programme (UNDP)/ Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BCPR). **Reducing disasters: a challenge for development**. New York: John S. Swift, 2004. 161p.

UNITED Nations Disasters Relief Organization. **Natural disasters and vulnerability analysis**. Genebra, 1979. 49p. Digitatizado em 2009 pela Boston Public Library. Disponível em <<http://www.archive.org/details/naturaldisastersOOoffi>> Acessado em março de 2010.

UNITED States Environmental Protection Agency (EPA), Environmental standards for the management and disposal of spent nuclear fuel, high-level and transuranic radioactive waste; final rule, 40 CFR Part 191. **Federal Register**, **50**, p. 38066-38089, 1985.

VARGAS, M. História da matematização da natureza. **Estudos Avançados**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, v.10, n.28, p. 249-276 , set-dez/1996.

van ZYL, J. J. The shuttle radar topography mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Austonautica**, v 48, n.5 – 12., p. 559-564, 2001.

VICENTE, L.E., PERES FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Geografia**. Rio Claro: AGETEO, v.28, n.3, p. 323-344, set-dez/2003.

VICENTE, L.E. **Caracterização de sistemas ambientais tropicais complexos utilizando análise sistêmica e processamento hiperespectral de dados do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*)**. 2007, 209p. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. 2007.

YAMADA, K. Estimation of monthly precipitation by gegographical factors and meteorological variables. In: **Symposium on improved methods of hydrological measuraments in mountain areas (S1) e Symposium on quantitative and qualitative water cycle (S2)**, n. 193, 1990, Lausanne/Switzerland. Proceedings... Oxfordhire: IAHS Press, 1990. p.405-412.

YOUNG, A. F.; FUSCO, W. Espaços de Vulnerabilidade Sócio-ambiental para a População da Baixada Santista: identificação e análise das áreas críticas. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, **Anais...**, Caxambu - MG, 2006.

WEISSE, A.K., BOIS, P. Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps. **Journal of applied meteorology**, v.40, p. 720– 740, abr/2001.

WEISZFLOG, W. (ed.) **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda. 2007.

WINKLER, R.L. Uncertainty in probabilistic risk assessment. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 54, p. 127 – 132, 1996.