UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Adriano de Souza Antunes

Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP

Versão corrigida

.

São Paulo

2015

Adriano de Souza Antunes

Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP

Versão corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências (Geografia Física)

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

AAAA

Antunes, Adriano de Souza
Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP / Adriano de Souza Antunes ; orientador Emerson Galvani. - São Paulo, 2015.
103 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Precipitação intensa. 2. Bacia hidrográfica. 3. Rio Piracicaba. 4. Desastres naturais. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

Folha de aprovação

Adriano de Souza Antunes

Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências (Geografia Física)

Aprovado em _____/_____/_____

Banca examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani (Orientador)
Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Ailton Luchiari

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva
Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

Assinatura: _____

À minha família pela sempre presença,
mesmo que distante.

Agradecimentos

Mais uma longa jornada está sendo finalizada, e nesse tempo várias pessoas especiais estiveram em meu caminho, entre elas...

...meus pais e minha irmã, que por várias vezes me apoiaram e me fizeram feliz pelo simples fato de sentirem orgulho dos meus atos;

...ao professor Emerson, por toda a paciência, compreensão e ensinamentos. Me sinto realmente orgulhoso de ter sido seu orientado por alguém que tem o dom de ser professor em sua essência;

...aos novos e antigos amigos do LCB e da USP, pela ajuda nesse trabalho, pelos vários momentos de sorrisos e companheirismo, fosse nos vários congressos, viagens ou simplesmente pelo(s) café(s) do dia a dia....

...aos amigos do Colégio Rio Branco, em especial a Carol pelas dicas na condução do trabalho e a Judith pela valiosa ajuda com o inglês;

...a Rafa, pela imensa ajuda e pelo bom humor inabalável que deixaram os meus dias mais leves;

...aos companheiros da República 171; ao amigo Jubileu, pela grande ajuda com a cartografia;

...aos vários professores que fizeram parte da minha formação e me transformaram naquilo que sou hoje;

e finalmente a Deus por me permitir tamanhas conquistas e me proporcionar uma belíssima vida....

minha eterna gratidão a todos.

O sexto planeta era dez vezes maior. Era habitado por
um velho que escrevia em livros enormes.
-Bravo! Eis um explorador! exclamou ele,
logo que viu o pequeno príncipe.
O principezinho sentou-se à mesa, ofegante. Já viajara tanto!
-De onde vens? perguntou-lhe o velho.
-Que livro é esse? perguntou-lhe o principezinho.
Que faz o senhor aqui?
-Sou geógrafo respondeu o velho.
-Que é um geógrafo? perguntou o principezinho.
É um sábio que sabe onde se encontram os mares,
os rios, as cidades, as montanhas, os deserto
'Isto é bem interessante' disse o principezinho'
Eis afinal uma verdadeira profissão!...

Trecho do livro "O pequeno Príncipe", de Antoine de Saint-Exupéry, Editora Agir, 1945.

Resumo

ANTUNES, A. S. **Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

A presente pesquisa apresenta uma análise da dinâmica espacial e temporal dos eventos intensos de precipitação na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, no período de 1981 a 2010, com dados de 51 postos pluviométricos mantidos na região pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e pela Agência Nacional de Águas (ANA) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). A partir do limiar de 94 mm em 24 horas, obtido por meio da adaptação do método *box plot,* foi possível estabelecer áreas de maior ocorrência de eventos e buscar possíveis relações com outros elementos climáticos e geomorfológicos. Verificou-se que o setor centro-leste da bacia hidrográfica recebeu a maior quantidade de chuvas intensas no período estudado. Através do mapa de ocorrência desses fenômenos pode-se perceber a influência do relevo nessa dinâmica já que se trata do início do planalto Atlântico com altitudes de aproximadamente 1800 metros. Suscetíveis a grande quantidade de sistemas frontais e ZCAS, podemos atribuir a variabilidade desses eventos, em sua maioria, a esses sistemas já que predominaram no verão e primavera, justamente o maior período de ocorrência desses fenômenos. Posteriormente buscou-se verificar possíveis associações entre as características pluviométricas do local e a metodologia dos anos padrão. Após a análise desses elementos, pode-se perceber que existe uma boa relação entre os períodos considerados chuvosos e habituais e os eventos de chuva intensa, já que nesses anos obtivemos grande quantidade de precipitações intensas. Por fim, foi realizado o estudo de caso de dois eventos de precipitação que tiveram grande magnitude horária. As consequências em superfície, ficaram evidentes como por exemplo, inundações e alagamentos, representadas por meio de recortes de notícias de jornal de dias posteriores ao evento.

Palavras-chave: precipitação intensa, bacia hidrográfica, rio Piracicaba, desastres naturais

Abstract

ANTUNES. A.S. **Intense rainfall phenomena : analysis of spatiality and variability in the Piracicaba-SP river basin**. 2015. Thesis (Master's degree) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

This research presents an analysis of the dynamics of intense precipitation events in the basin of Piracicaba river in the period from 1981 to 2010 with data from 50 rain gauges in the region maintained by the Department of Water and Power (DAEE), the National Water Agency (ANA) and Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) . Through the method of integrated analysis, it was the spatiality and variability of events in the study area, looking for possible explanations for the occurrence of these phenomena. From the threshold of 94 mm in 24 hours, obtained by adapting the box plot method, it was possible to establish areas of higher incidence of events and seek possible relationships with other climatic and geomorphological elements. It was found that the central-eastern sector of the basin received the highest amount of heavy rains during the study period. Through the occurrence of these phenomena map one can see the influence of relief in this dynamic since it is the beginning of the Atlantic plateau with altitudes of about 1800 meters. Susceptible to large amount of frontal systems and ZCAS, we can attribute the variability of these events, for the most part, these systems since prevailed in the summer and spring, just the greatest period of occurrence of these systems. Later he sought to investigate possible associations with rainfall characteristics of the site with the methodology of standard years. After analyzing these elements, one can see that there is a good relationship between rainy periods considered and intense rainfall events, since in those years got lots of heavy rainfall. Finally, the study was conducted in the case of two intense precipitation events that had great hourly magnitude. The consequences surface, were evident such as floods and flooding, represented through newspaper news clippings of days after the event.

Keywords: intense precipitation, river basin, Piracicaba river, natural disasters

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Piracicaba..... 21

FIGURA 2: Divisão político-administrativa dos Municípios inseridos na bacia do rio Piracicaba..... 22

FIGURA 3: Confluência dos rios Atibaia e Jaguari dando origem ao Piracicaba..... 23

FIGURA 4: Mapa geológico da bacia do rio Piracicaba..... 24

FIGURA 5: Mapa geomorfológico da bacia do rio Piracicaba..... 26

FIGURA 6: Mapa hipsométrico da bacia do rio Piracicaba..... 27

FIGURA 7: Perfil esquemático do sistema Cantareira..... 28

FIGURA 8: Mapa de climas da bacia do rio Piracicaba..... 29

FIGURA 9: Balanço hídrico do Município de Rio Claro-SP..... 32

FIGURA 10: Balanço hídrico do Município de Piracaia..... 32

FIGURA 11: Mapa pedológico da bacia do rio Piracicaba..... 36

FIGURA 12: Mapa da distribuição populacional da bacia hidrográfica do rio Piracicaba..... 37

FIGURA 13: Mapa de uso do solo da bacia do rio Piracicaba..... 39

FIGURA 14: : Evolução da aplicação da abordagem sistêmica em análise espacial..... 44

FIGURA 15: Processos decorrentes da entrada de água no sistema bacia hidrográfica..... 45

FIGURA 16: Relação entre eventos e desastres naturais..... 47

FIGURA 17: Tipos de desastres ligados ao clima ocorridos no Brasil..... 48

FIGURA 18: Zona de convergência do atlântico sul em 04 de março de 2011..... 51

FIGURA 19: Distribuição dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa..... 55

FIGURA 20: Raio de abrangência dos postos pluviométricos..... 58

FIGURA 21: Área coberta pelas estações meteorológicas..... 59

FIGURA 22: Estação meteorológica da fazenda Areão..... 59

FIGURA 23: Pluviômetros utilizados na estação meteorológica fazenda Areão..... 60

FIGURA 24: Pluviômetros utilizados na estação meteorológica fazenda Areão..... 60

FIGURA 25: : Representação dos *outliers*..... 62

FIGURA 26: Gráfico *box plot*..... 63

FIGURA 27: Média anual de precipitação entre os anos de 1981 e 2010..... 66

FIGURA 28: Média anual de precipitação entre os anos de 1981 e 2010..... 68

FIGURA 29: Precipitação com total superior a 94 mm em 24h na bacia do rio Piracicaba..... 69

FIGURA 30: Variação sazonal dos eventos de precipitação com total superior a 94 mm bacia do rio Piracicaba- SP..... 70

FIGURA 31: Distribuição dos eventos de precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba..... 71

FIGURA 32: Registros de eventos de precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba..... 72

FIGURA 33: Perfil topográfico sentido leste-oeste versus número de eventos de precipitação intensa.... 73

FIGURA 34: Tendência na ocorrência dos eventos de precipitação intensa..... 74

FIGURA 35: Relação eventos de precipitação intensa versus anos padrão..... 76

FIGURA 36: Imagem do satélite GOES 10 do dia 7 de fevereiro de 2007 para o horário de 14:00Z..... 78

FIGURA 37: Imagem do satélite GOES 10 do dia 7 de fevereiro de 2007 para o horário de 16:00Z..... 78

FIGURA 38: Carta sinótica do dia 18 de janeiro de 2007 para o horário 0.00 GMT..... 79

FIGURA 39: Carta sinótica do dia 18 de janeiro de 2007 para o horário 12.00h GMT..... 79

FIGURA 40: Análise rítmica de fevereiro de 2007..... 80

FIGURA 41 : Recorte de jornal do dia 19 de janeiro de 2007..... 81

FIGURA 42 : Recorte de jornal do dia 19 de janeiro de 2007..... 81

FIGURA 43: Imagem realçada do satélite GOES 12 do dia 03 de dezembro de 2009 para o horário de 4.00 GMT, América do Sul..... 82

FIGURA 44: Imagem realçada do satélite GOES 12 do dia 03 de dezembro de 2009 para o horário de 4.00 GMT, região sudeste do Brasil..... 82

FIGURA 45: Carta sinótica do dia 03 de dezembro de 2009 para 0.00h GMT..... 83

FIGURA 46: Carta sinótica do dia 3 de dezembro de 2009 para 12.00h GMT..... 83

FIGURA 47: Análise rítmica de novembro de 2009..... 84

FIGURA 48: Recorte de jornal do dia 4 de dezembro de 2009..... 85

FIGURA 49: Recorte de jornal do dia 4 de dezembro de 2009. 85

FIGURA 50: Recorte de jornal do dia 4 de dezembro de 2009. 86

FIGURA 51: Recorte de jornal do dia 4 de dezembro de 2009. 86

FIGURA 52: Recorte de jornal do dia 4 de dezembro de 2009. 86

FIGURA 53: Recorte de jornal do dia 23 de janeiro de 2007..... 87

FIGURA 54: Enchente na rua do porto em janeiro de 2011. 88

FIGURA 55: Placa da Defesa Civil colocada nas casas da rua do porto..... 89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Clima dos Municípios paulistas (Rio Claro)..... 31

TABELA 2: Clima dos Municípios paulistas (Campinas)..... 31

TABELA 3: Clima dos municípios paulistas (Piracaia)..... 32

TABELA 4: Clima dos municípios paulistas (Pedra Bela)..... 32

TABELA 5: Distribuição dos diversos tipos de solos na BHRP..... 33

TABELA 6: Características dos diferentes tipos de solos..... 34

TABELA 7: Classificação da precipitação diária..... 63

TABELA 8: Cálculo das diferentes faixas de precipitação..... 64

TABELA 9: Determinação dos anos padrão..... 75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

BHRP - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA

CB - CUMULONIMBUS

CCM - COMPLEXO CONVECTIVO DE MESOESCALA

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMATICAS APLICADAS A AGRICULTURA

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

COMITÊ PCJ - COMITÊ DAS BACIAS DIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACIBA, CAPIVARI E JUNDIAÍ

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

ECI - EVENTO DE CHUVA INTENSA

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

ENOS - EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

ESALQ - ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ

GOES - GEOSTATIONARY ENVIRONMENTAL SATTELITE OPERATIONAL

IOS - ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL

IRI - INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

LN - LA NINÃ

MPA - MASSA POLAR ATLÂNTICA

MTC- MASSA TROPICAL CONTINENTAL

MTA - MASSA TROPICAL ATLÂNTICA

MEC- MASSA EQUATORIAL CONTINENTAL

NCEP - NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION

NCAR - NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH

PR - PARANÁ

RS - RIO GRANDE DO SUL

SCM - SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA

SF - SISTEMAS FRONTAIS

SP - SÃO PAULO

TSM - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

VCAN - VÓRTICE CICLÔNICO DE ALTOS NÍVEIS

ZCAS - ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 16
1.1 Justificativa..... 18
1.2 Objetivos..... 19
1.3 Caracterização da área de estudo..... 19

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 39

2.1 A Teoria sistêmica..... 40
2.2 A bacia hidrográfica como escala de análise..... 43
2.3 Desastres naturais..... 46
2.4 Principais elementos e fenômenos que atuam na gênese dos eventos intensos de precipitação na região da bacia hidrográfica do rio Piracicaba..... 49
2.5 Definição de evento de precipitação pluvial intensa..... 52

3. METODOLOGIA E TÉCNICAS..... 54

3.1 Obtenção dos dados..... 54
3.2 A consistência do banco de dados e a espacialização da precipitação..... 56
3.3 Preenchimento de Falhas..... 60
3.4 Determinação dos eventos de precipitação intensa..... 61
3.5 Análise dos dados de precipitação intensa..... 64
3.6 Determinação dos anos padrão..... 64
3.7 Análise do evento horário de precipitação intensa: critério de seleção 65

4. RESULTADOS..... 66

4.1 Variabilidade da precipitação média para o período de 1981 a 2010..... 66
4.1.1 Análise da precipitação média anual..... 66
4.2 Variabilidade e espacialização dos eventos de precipitação intensa..... 69
4.3 Relação eventos de precipitação intensa e anos padrão..... 74
4.4 Análise dos eventos horários de precipitação intensa..... 77
4.4.1 Gênese do evento (18 de Janeiro de 2007)..... 78
4.4.2 Consequências do evento de precipitação do dia 18 de Janeiro de 2007..... 81
4.5 O evento de precipitação do dia 03 de Dezembro de 2009..... 82
4.5.1 Consequências do evento de precipitação do dia 03 de Dezembro de 2009..... 85
4.6 A necessidade da prevenção..... 89

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 90

6. REFERÊNCIAS..... 92

ANEXOS.....

101

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais constituem um tema cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, independentemente destas residirem ou não em áreas de risco conforme cita Tominaga et al. *(*2009). Já os fenômenos de precipitação intensa, podem ser classificados como eventos com abrangência espacial e quantidade de tempo determinadas e com um limiar mínimo medido em milímetros, podendo ou não acarretar consequências danosas em superfície (Zhu e Thot, 2001).

Dessa forma, os fenômenos de precipitação intensa em uma região onde o adensamento populacional é elevado podem acarretar sérios transtornos à população e ao próprio ecossistema local, dando origem a grandes desastres naturais.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba (BHRP) é um exemplo no qual os elementos naturais se misturam ao grande adensamento urbano. Regiões que não ofereciam condições seguras de moradia passaram a ser ocupadas rapidamente nas últimas décadas. Em 1980, a população na bacia hidrográfica era de aproximadamente 2 milhões de habitantes, passando a 4 milhões nos últimos anos, o que evidencia um rápido crescimento demográfico (IBGE, 2010). Esse intenso processo de urbanização e industrialização passou a ser fonte de poluição e de maior consumo de seus recursos, gerando uma crescente preocupação acerca da qualidade de suas águas (ANA, 2007). Esses anseios são justificáveis, visto que a bacia hidrográfica do rio Piracicaba abastece parte da Região Metropolitana de São Paulo por meio do sistema Cantareira, angariando seus recursos hídricos para aproximadamente 5,3 milhões de pessoas (SABESP, 2015)

Os transtornos, a saber, enchentes, inundações e escorregamento de vertentes, são fortemente ligados à quantidade de chuva e seu tempo de duração. Dessa forma, existem

diversos conceitos relacionadas às precipitações, que serão classificadas de acordo com o critério citado, ou seja, quantidade e duração do evento.

O conhecimento sobre a dinâmica pluviométrica de um determinado local sempre foi necessário, sobretudo dos eventos intensos, ou seja, aqueles que pelo grande volume ou intensidade, causam transtornos consideráveis as cidades. Determinar locais de maior probabilidade de ocorrência ou como esses fenômenos se comportaram ao longo dos anos pode ser fundamental na composição de futuros estudos e consequentemente na elaboração de plano de prevenção a acidentes.

Entretanto, é necessário conhecer toda as características pluviométricas do local de estudo para que se possa determinar quais eventos podem ser considerados intensos, pois cada local possui sua especificidade, tanto do ponto de vista climático quanto em superfície, como por exemplo, a dinâmica urbana e seus elementos geomorfológicos. Diversos autores já desenvolveram trabalhos sobre os eventos de precipitação intensa e suas consequências, Oliveira (2014) que verificou a ocorrência a ocorrência dos fenômenos em Fortaleza; Lima (2010) que investigou a ocorrência de eventos intensos na região sudeste do Brasil e Zanella et al. (2009) que estudaram o impacto de eventos extremos de precipitação na cidade de Fortaleza, evidenciando a relação oceano-atmosfera. Dessa forma é possível destacar as diferentes abordagens que cada área proporciona aos estudos sobre os fenômenos de precipitações intensas.

Dentro dessa perspectiva, a bacia hidrográfica representa de forma evidente as relações sistêmicas entre a atmosfera, a superfície e as atividades humanas, sendo compreendida como um sistema conforme afirmam Rodrigues e Adami (2005). Logo, essas áreas representam um aspecto contínuo de paisagens e elementos sociais, sendo importantes para facilitar e dinamizar as ações de planejamento.

Sendo assim, o objetivo desse estudo é verificar a variabilidade e a espacialidade dos eventos intensos de precipitação, buscando explicações acerca de suas características em escala sinóptica e suas características em superfície. Para explicar tais especificidades, será utilizado o método da análise integrada, baseado em análise de dados de precipitação assim como observações de campo e utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Por meio dos elementos estudados, será possível identificar quais áreas recebem mais fenômenos de precipitação intensa, assim como conhecer os elementos que influenciam tanto a variabilidade quanto a espacialidade dos eventos.

1.1 Justificativa

Diversos estudos são incisivos e apontam para consequências sociais quase certas dos eventos de precipitação intensa: os transtornos urbanos e o crescente número de vítimas à medida que se tem notícias acerca do aumento do número desses eventos.

Dessa forma, é sabido que os elementos urbanos influenciam no aumento do caos gerado por um evento climático intenso. No caso da bacia do Rio Piracicaba, de acordo com os dados do IBGE, a população da região praticamente dobrou no período estudado, ou seja, 30 anos. Formas de prevenção e adaptação a esses eventos vem sendo estudadas a medida que os níveis tecnológicos aumentam, como por exemplo, novos softwares ligados a meteorologia ou cartografia.

Nessa medida, o estudo se faz necessário já que a bacia do rio Piracicaba pode ser considerada de extrema importância, tanto do ponto de vista econômico e ambiental, quanto social já que possui uma considerável produção agropecuária, abriga importantes indústrias, Municípios consideravelmente desenvolvidos, abastece grande parte da Região Metropolitana de São Paulo através da captação de água do chamado Sistema Cantareira e possui uma dinâmica de alagamentos sazonais que prejudicam a população local em diversos aspectos.

Sendo assim novos estudos são realizados na tentativa de minimização dos efeitos desses eventos, diminuindo prejuízos num âmbito geral.

1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é realizar o estudo do fenômeno de precipitações intensas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba – SP, analisando sua frequência e espacialidade no período de 1981 a 2010. Dentro dessa perspectiva, os objetivos específicos são:

- Realizar a espacialização dos eventos de precipitação pluvial intensa no interior da bacia do rio Piracicaba, assim como determinar sua distribuição sazonal;
- Apontar os elementos meteorológicos e geomorfológicos que contribuem e intensificam um evento climático intenso na bacia hidrográfica citada;
- Compreender a influência de grandes fenômenos climáticos na origem e variabilidade dos eventos de precipitação intensa;
- Identificar os limiares para a classificação em anos padrão e buscar possíveis relações com os eventos de precipitação intensa;
- Analisar, fenômenos horários de precipitação intensa, identificando suas principais características e consequências em superfície;
- Realizar a análise rítmica dos eventos horários escolhidos e finalmente determinar os sistemas atmosféricos atuantes responsáveis pelos fenômenos.

1.3 Caracterização da área de estudo

Localizada na região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 22°00’ e 23°30’ de latitude Sul e os meridianos 46°00’ e 48°30’ de longitude Oeste, a bacia hidrográfica do rio Piracicaba drena uma área aproximada de 12.400 km^2, da qual 11.020 km^2 estão inseridas no Centro-leste do Estado de São Paulo e o restante na região Sudoeste de Minas Gerais.

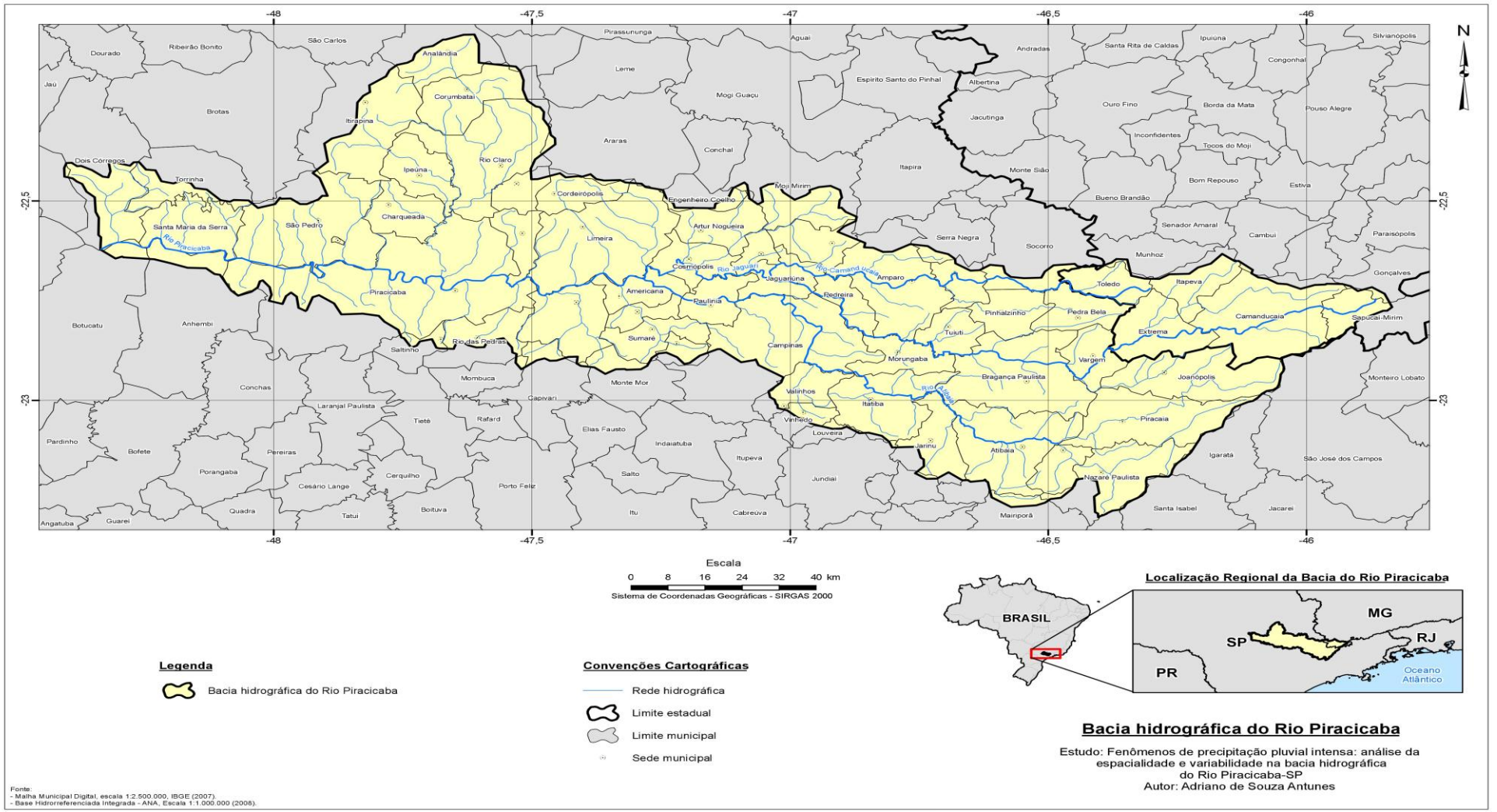


Figura 1: Localização da Bacia hidrográfica do rio Piracicaba

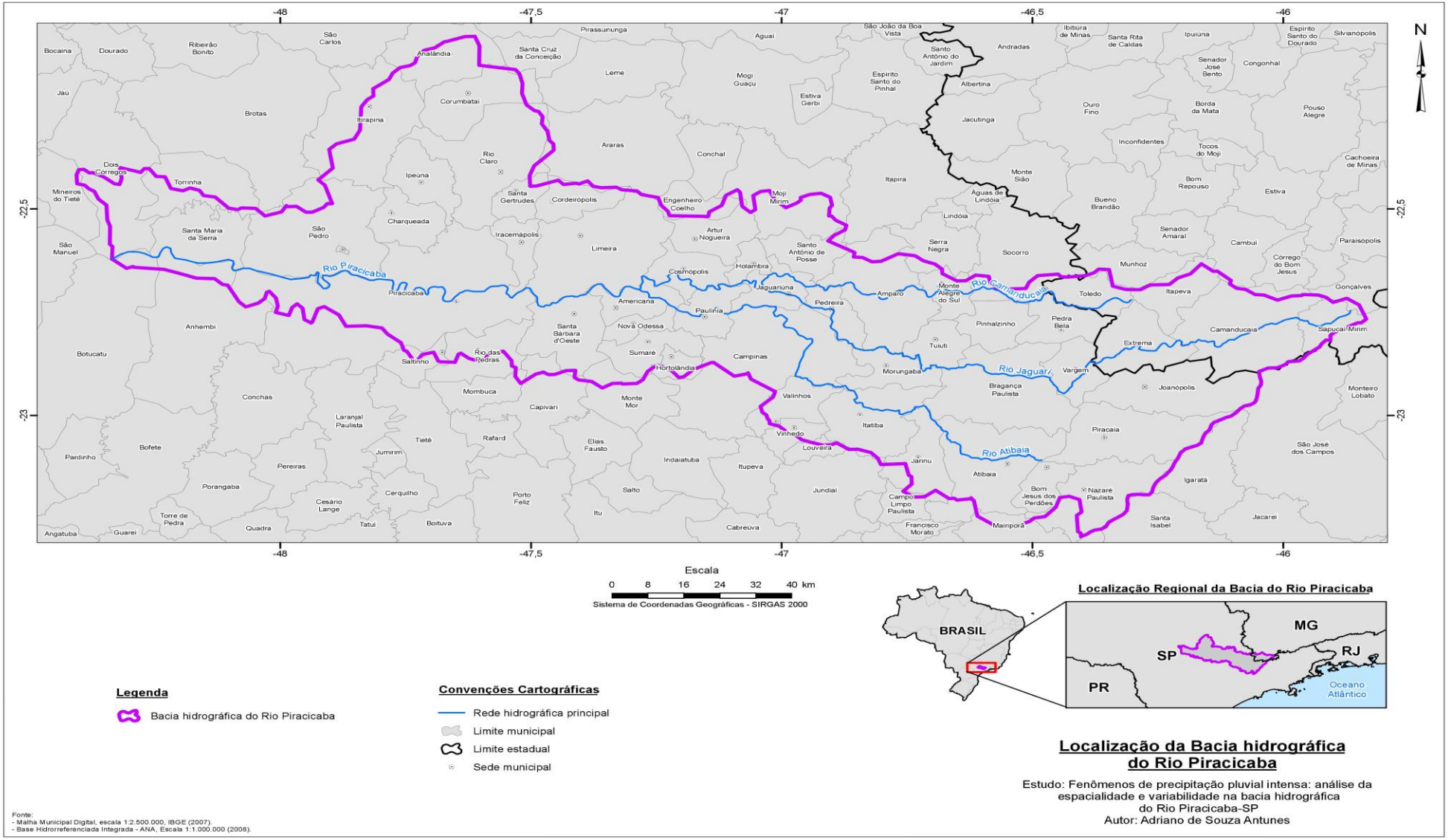


Figura 2: Divisão político administrativa da bacia hidrográfica.

Apresenta comprimento aproximado de 250 Km, largura média de 50 Km com um desnível topográfico de cerca de 1.400 metros, desde suas cabeceiras na Serra da Mantiqueira, em MG, até sua foz no Rio Tietê (São Paulo, 1990).

Composta por 61 municípios, sendo 56 no Estado de São Paulo e 5 em Minas Gerais, abriga locais importantes do interior do Estado de São Paulo devido ao seu grande destaque no cenário econômico e tecnológico do Brasil, como por exemplo Campinas, Limeira, Rio Claro e Piracicaba.

Os principais rios pertencentes a bacia hidrográfica são o Atibaia, Jaguari, Corumbataí, Piracicaba e o Camanducaia que, após percorrem uma distância de cerca de 250 quilômetros no sentido leste-oeste, deságuam no reservatório de Barra Bonita, constituindo um dos principais afluentes do rio Tietê (Projeto Piracena, 1997).

O rio que dá nome a bacia hidrográfica se forma na confluência dos rios Atibaia e Jaguari na cidade de Americana, como mostra a figura 3, percorrendo assim seu caminho até a foz em Barra Bonita, conforme citado anteriormente.

Figura 3: Confluência dos rios Atibaia (margem direita) e Jaguari (margem esquerda), que dá origem ao rio Piracicaba. (Fonte http://www.foruns.unicamp.br/energia/evento7/pdf_seva_forumEnAmb_08mar05.pdf /)

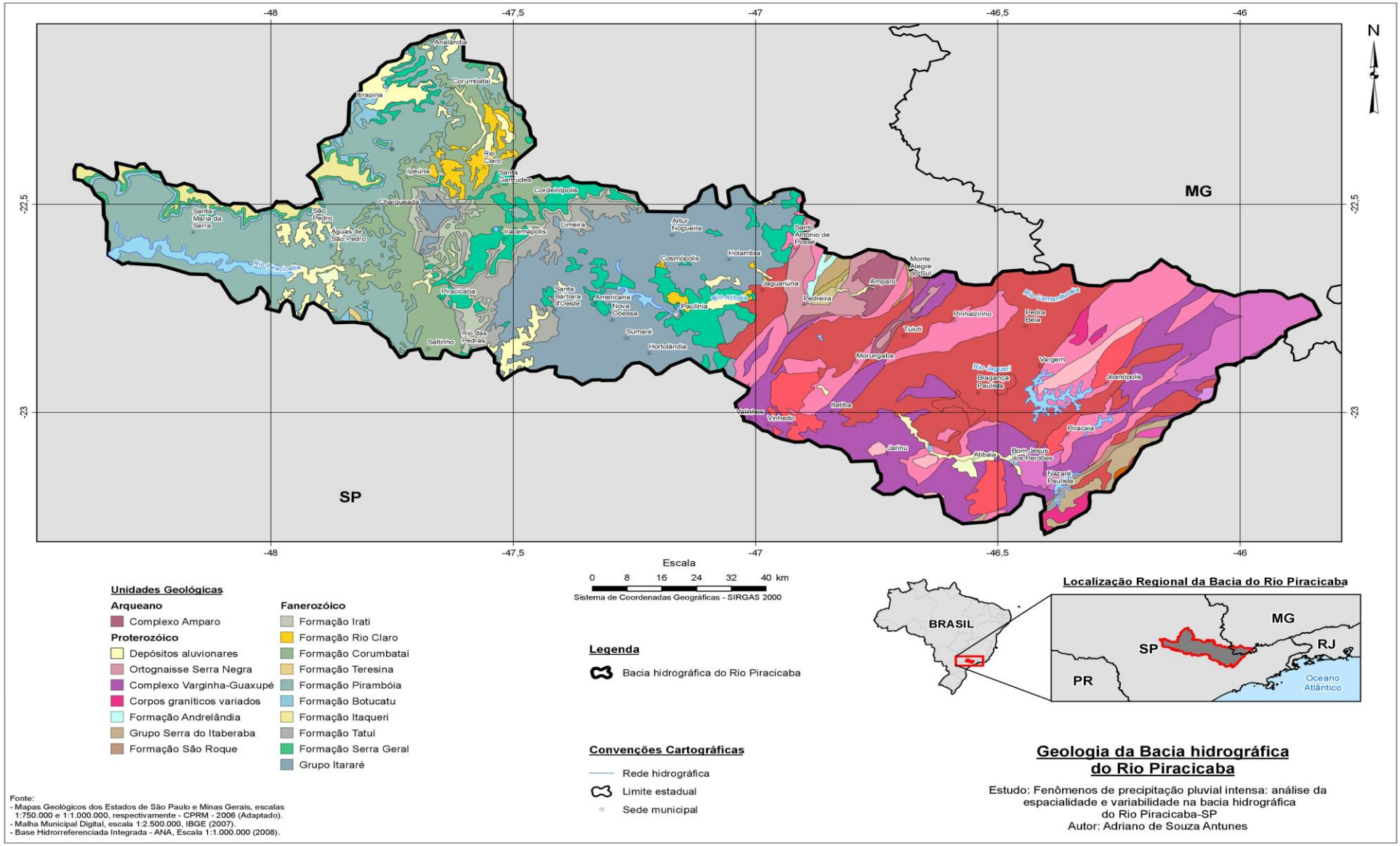


Figura 4: Mapa Geológico da bacia do rio Piracicaba.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui dois compartimentos geológicos distintos. Do centro para leste, predominam as rochas cristalinas, onde a pastagem ocupa grande parte do solo. Da região média para oeste, encontram-se quatro grandes unidades estratigráficas: os Grupos Tubarão, Passa Dois, São Bento e Bauru. São nessas regiões que se encontram os maiores centros urbanos e as grandes plantações de cana-de-açúcar. (São Paulo, 1996).

O conhecimento do relevo nos permite fornecer elementos para ações de planejamento, prevenção de desastres, manejo agrícola, entre outros. Dentro dessa perspectiva, a bacia do rio Piracicaba está inserida em três grandes compartimentos geomorfológicos do estado de São Paulo, conforme mostra a figura 5: o Planalto Atlântico, a leste composto por rochas cristalinas, que representam um conjunto de terras de maiores altitudes, formadas por uma pequena região da Serra da Mantiqueira; no centro-oeste encontra-se a Depressão Periférica, que se estende por uma faixa de aproximadamente 50 km, formada por rochas sedimentares e áreas de intrusões basálticas; e finalmente, a extremo oeste, as Cuestas Basálticas que, no contato com a Depressão Periférica, constituem um frontão caracterizado pelo relevo escarpado e suavizado (São Paulo, 1990). O desnível apresentando em sua extensão, contribui de forma significativa com o sistema Cantareira, que funciona em grande parte através do movimento ocasionado pela gravidade. A figura 6 mostra as diferentes altitudes no terreno (São Paulo, 1996).

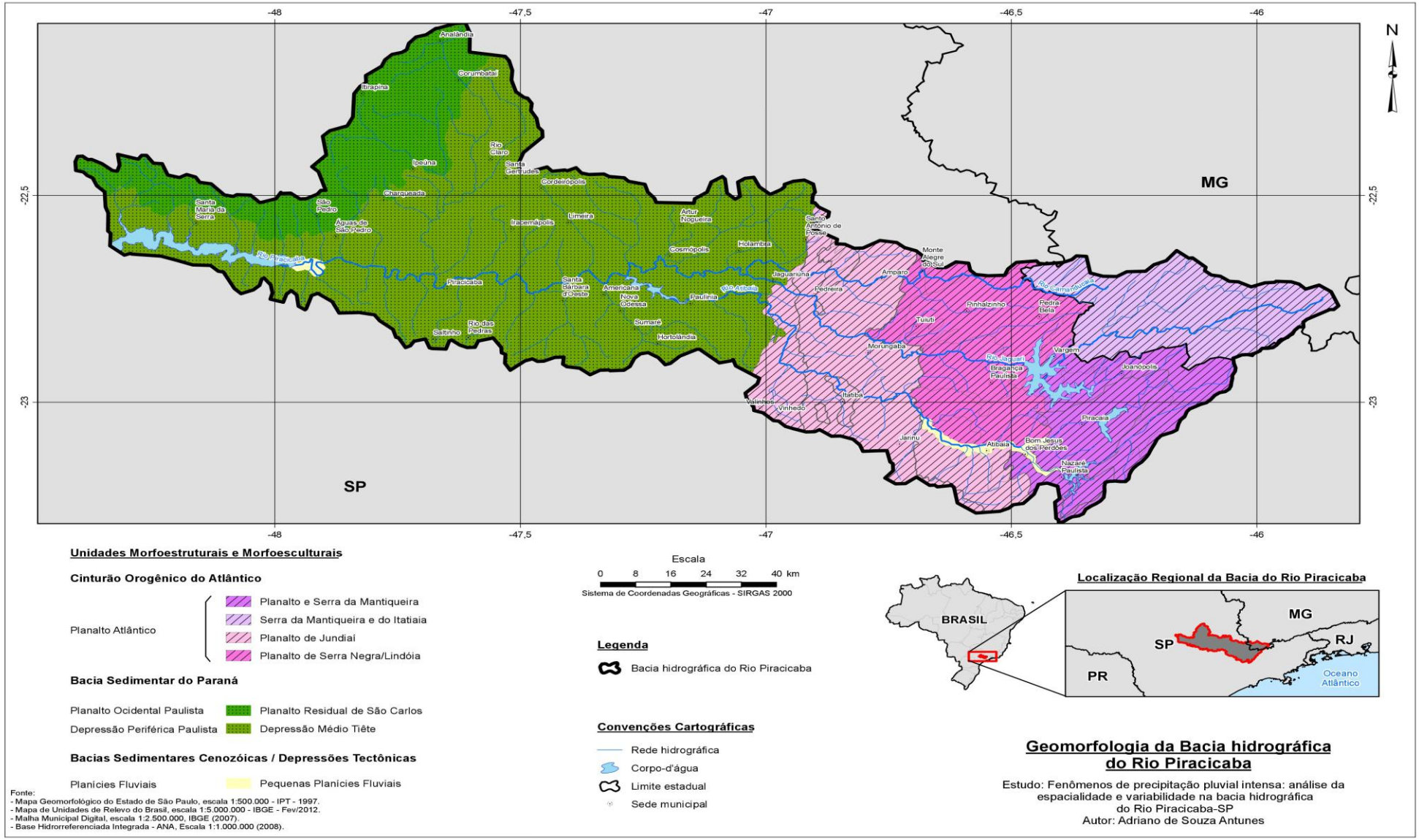
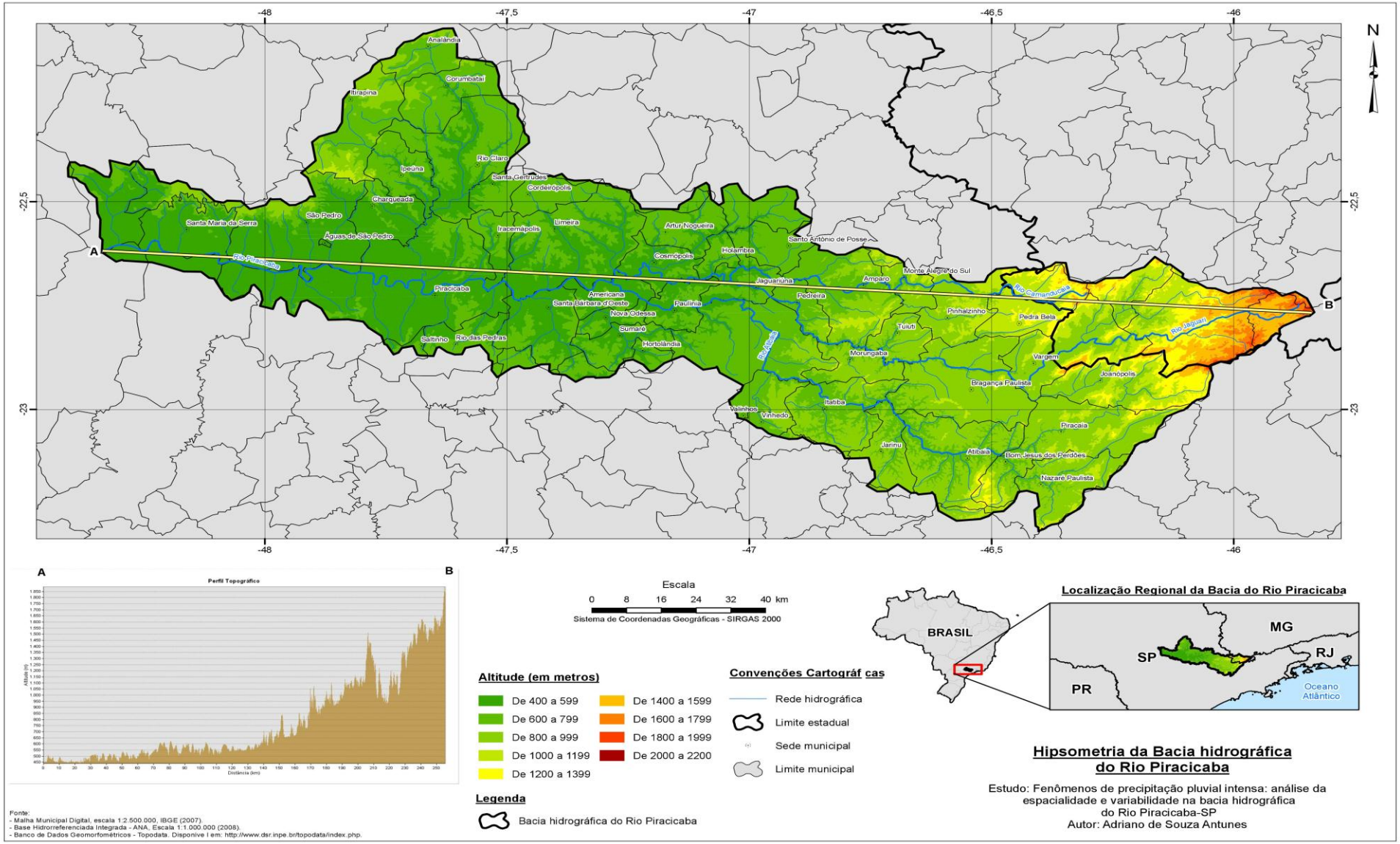


Figura 5: Mapa Geomorfológico da bacia do rio Piracicaba.



· Figura 6: Mapa hipsométrico da bacia do rio Piracicaba.

O Sistema Cantareira, inaugurado em Dezembro de 1973, começou a operar em 1974. O objetivo do sistema é auxiliar no abastecimento de água da Grande São Paulo por meio das nascentes da bacia do rio Piracicaba, na Serra da Mantiqueira. (CARAM, 2010)

Administrado pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), o sistema é composto por seis grandes represas e 48 km de túneis e canais. Essas represas estão situadas em diferentes níveis de uma forma que, por meio da gravidade, a água possa fluir até chegar a Estação elevatória Santa Inês. Finalmente, todo o volume produzido é bombeado até a Represa Águas Claras, de onde segue também por gravidade até a ETA Guaraú. (CARAM, 2010).

Segundo Moraes et. al (1998), são exportados 31 m^3/s da bacia para o sistema, o que contribui significativamente para o decréscimo na descarga na região das cabeceiras. A figura 7 ilustra todo o processo descrito.

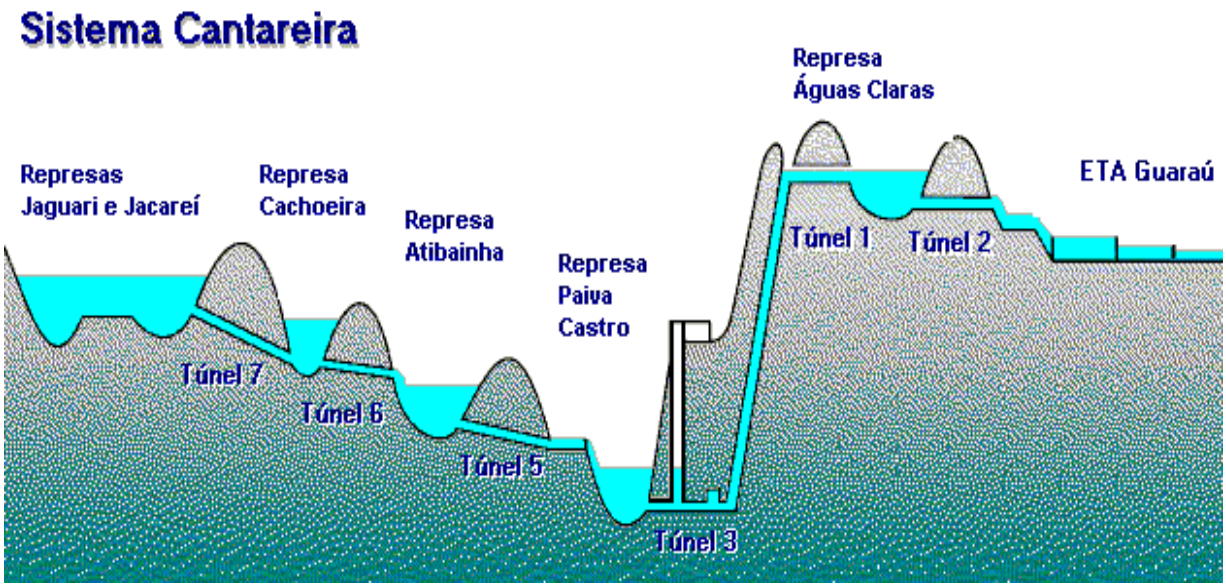


Figura 7: Perfil esquemático do sistema Cantareira. Fonte: SABESP (2011).

A eficiência do sistema Cantareira está intimamente ligado as características climáticas da região, já que se faz necessário um regime pluviométrico com médias elevadas para que o sistema não entre em colapso. Na área de estudo o clima está submetido à

influência das massas de ar tropicais, com características quentes (úmidas e secas) e polar, provocando diferenças regionais dadas pela distância em relação ao mar, e por fatores topoclimáticos como por exemplo, a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira. Segundo a classificação de Koeppen, seguem as classificações Cfb - sem estação seca e com verões tépidos (mornos); Cfa - sem estação seca e com verões quentes e Cwa - com inverno seco e verões quentes, nas regiões serranas. A média de pluviosidade nessas regiões é de 2100 mm anuais, sendo que grande parte está concentrada no verão, ocasionando assim os transtornos como inundações e deslizamentos de massa (São Paulo, 1990).

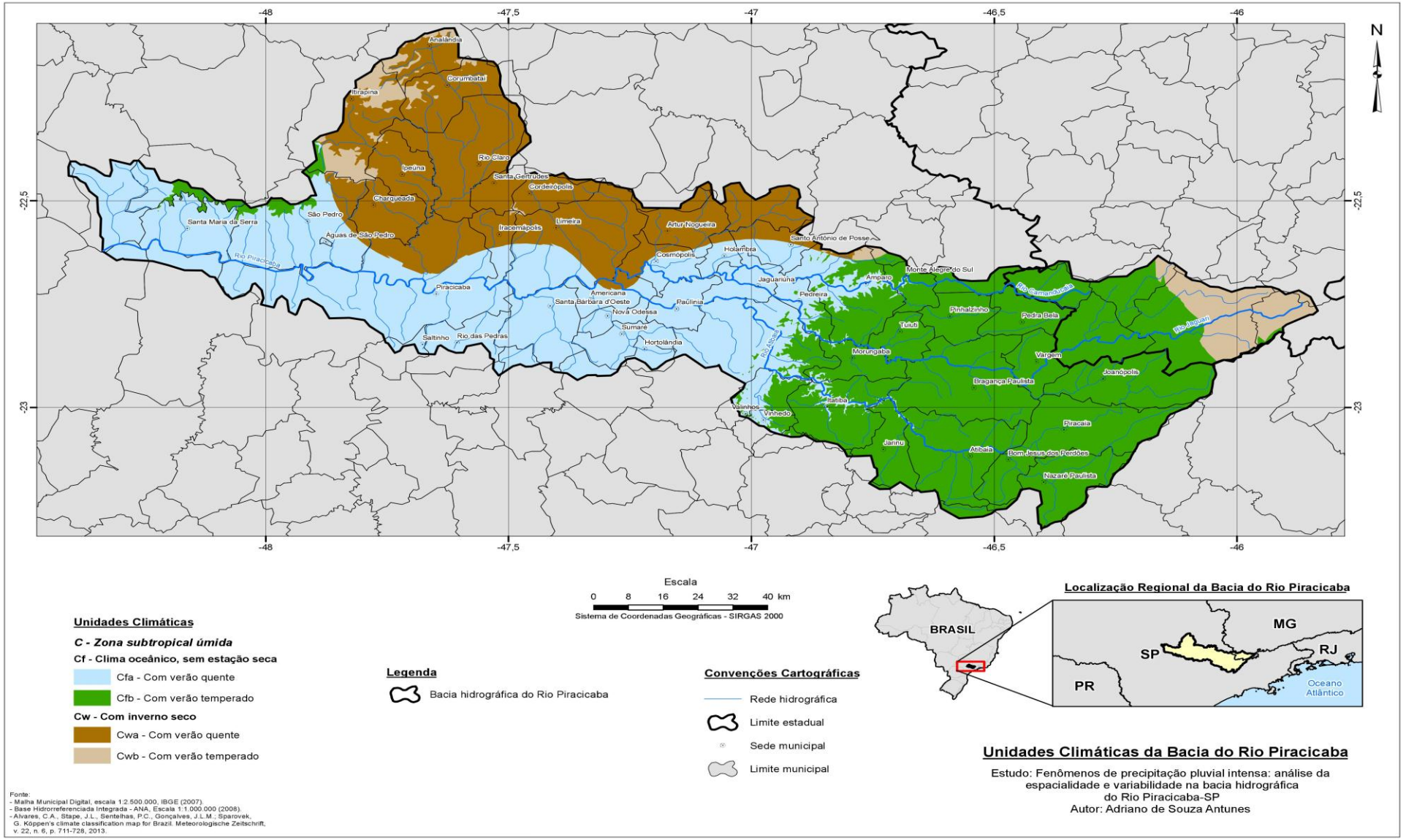


Figura 8: Mapa de climas da bacia do rio Piracicaba.

A medida que a distância em relação ao oceano aumenta, a amplitude térmica também se torna maior, pois novos fatores que influenciam o clima, como por exemplo, maritimidade continentalidade e altitude passam a ser preponderantes as características climáticas da região que atuam.

Para ilustrar essa característica, quatro municípios podem ser categorizados: Rio Claro, localizada a noroeste da bacia hidrográfica, Campinas no centro da área de estudo, Piracaia a extremo leste e Pedra Bela que está a 1120 metros de altitude, mostradas nas tabelas 1,2, 3 e 4 elaborada com dados do CEPAGRI - UNICAMP, de acordo com a última normal climatológica.

Tabela 1 e 2: Clima dos municípios paulistas (Rio Claro e Campinas)

Rio Claro

Latitude: 22g 14m Longitude: 47g 18m Altitude: 620 metros

Classificação Climática de Koeppen: Cwa

MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	18.5	29.8	24.2	234.1
FEV	18.7	29.9	24.3	203.1
MAR	18.0	29.5	23.8	153.8
ABR	15.4	27.9	21.6	63.2
MAI	12.7	26.0	19.3	62.4
JUN	11.2	24.9	18.1	38.2
JUL	10.7	25.1	17.9	26.9
AGO	12.1	27.3	19.7	28.8
SET	14.1	28.3	21.2	66.8
OUT	15.8	28.8	22.3	125.6
NOV	16.6	29.2	22.9	147.2
DEZ	17.9	29.1	23.5	216.7
Ano	15.1	28.0	21.6	1366.8
Min	10.7	24.9	17.9	26.9
Max	18.7	29.9	24.3	234.1

Campinas

Latitude: 22g 31m Longitude: 47g 2m Altitude: 680 metros

Classificação Climática de Koeppen: Cwa

MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	19.0	29.0	24.0	243.3
FEV	19.0	29.0	24.0	195.6
MAR	18.0	29.0	24.0	152.5
ABR	16.0	27.0	22.0	67.5
MAI	14.0	25.0	19.0	59.0
JUN	12.0	24.0	18.0	46.9
JUL	11.0	24.0	18.0	30.6
AGO	13.0	26.0	19.0	31.8
SET	14.0	27.0	21.0	66.1
OUT	16.0	28.0	22.0	126.0
NOV	17.0	28.0	23.0	141.8
DEZ	18.0	29.0	23.0	210.9
Ano	15.6	27.1	21.4	1372.0
Min	11.0	24.0	18.0	30.6
Max	19.0	29.0	24.0	243.3

Fonte: CEPAGRI-UNICAMP.
Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html

Tabela 3 e 4: Clima dos municípios paulistas (Piracaia e Pedra Bela)

Piracaia

Latitude: 23g 1m Longitude: 46g 12m Altitude: 800 metros

Classificação Climática de Koeppen: Cwa

MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	17.3	28.3	22.8	243.8
FEV	17.6	28.3	22.9	209.5
MAR	16.8	27.9	22.4	176.8
ABR	14.1	26.1	20.1	86.5
MAI	11.4	24.2	17.8	72.4
JUN	9.9	23.1	16.5	56.2
JUL	9.3	23.2	16.3	35.4
AGO	10.6	25.1	17.8	41.1
SET	12.5	26.2	19.4	77.5
OUT	14.3	26.8	20.5	141.8
NOV	15.3	27.4	21.3	155.0
DEZ	16.6	27.4	22.0	217.4
Ano	13.8	26.2	20.0	1513.4
Min	9.3	23.1	16.3	35.4
Max	17.6	28.3	22.9	243.8

Pedra Bela

Latitude: 22g 28m Longitude: 46g 15m Altitude: 1120 metros

Classificação Climática de Koeppen: Cwb

MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	15.5	26.0	20.8	261.8
FEV	15.8	25.8	20.8	197.9
MAR	14.9	25.6	20.3	180.9
ABR	12.4	23.9	18.1	89.4
MAI	9.6	22.2	15.9	72.2
JUN	8.1	21.1	14.6	51.0
JUL	7.6	21.2	14.4	40.6
AGO	8.8	23.0	15.9	39.1
SET	10.7	24.4	17.6	74.7
OUT	12.7	24.7	18.7	129.1
NOV	13.5	25.0	19.3	155.4
DEZ	14.8	25.1	19.9	232.6
Ano	12.0	24.0	18.0	1524.7
Min	7.6	21.1	14.4	39.1
Max	15.8	26.0	20.8	261.8

Fonte: CEPAGRI-UNICAMP.
Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html

Buscando mais informações acerca do clima local, os gráficos de balanço hídrico, podem fornecer dinâmicas precisas sobre a área abordada, evidenciando a quantidade de água que entra e sai do sistema. Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), o balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Essa razão mostra os momentos de deficiência, ou seja, mais água saindo do que entrando no sistema e o momento contrário, o de excedente, mais água entrando do que saindo do sistema.

As figuras 10 e 11 mostram, respectivamente a dinâmica dos diferentes setores da área de estudo. A medida que se aproximam do oceano, os municípios tendem a ter um menor tempo de deficiência hídrica ao longo do ano ou até mesmo a inexistência desse déficit.

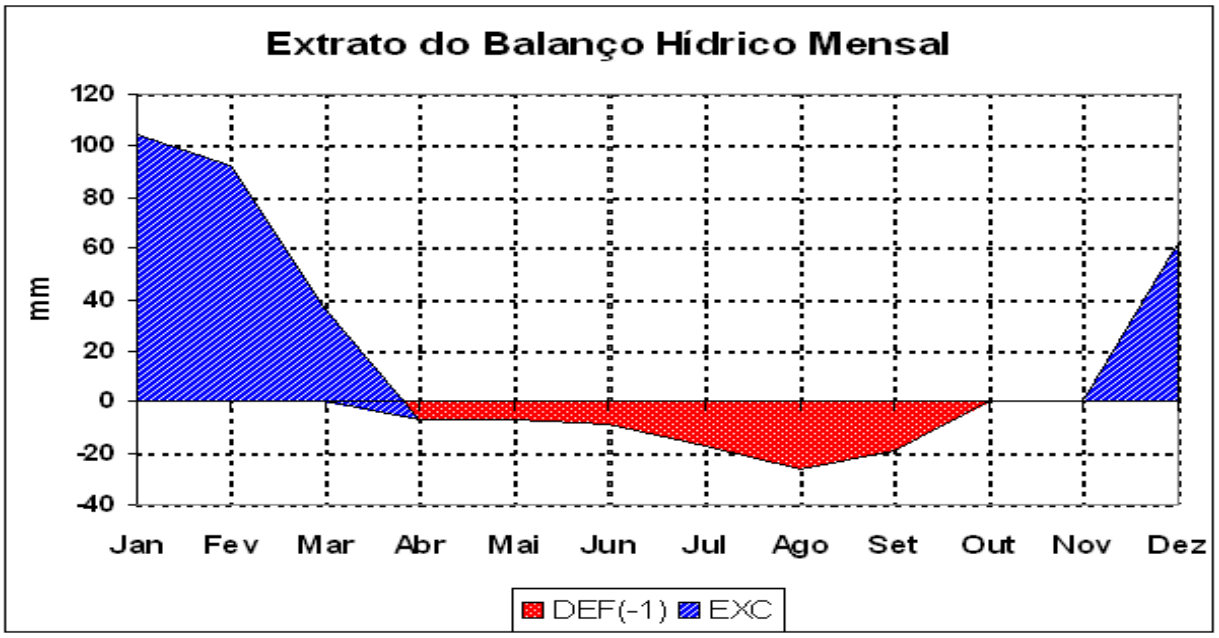


Figura 9: Balanço hídrico do município de Rio Claro-SP (dados de 1941 a 1970). Fonte: EMBRAPA. Disponível em: http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=442

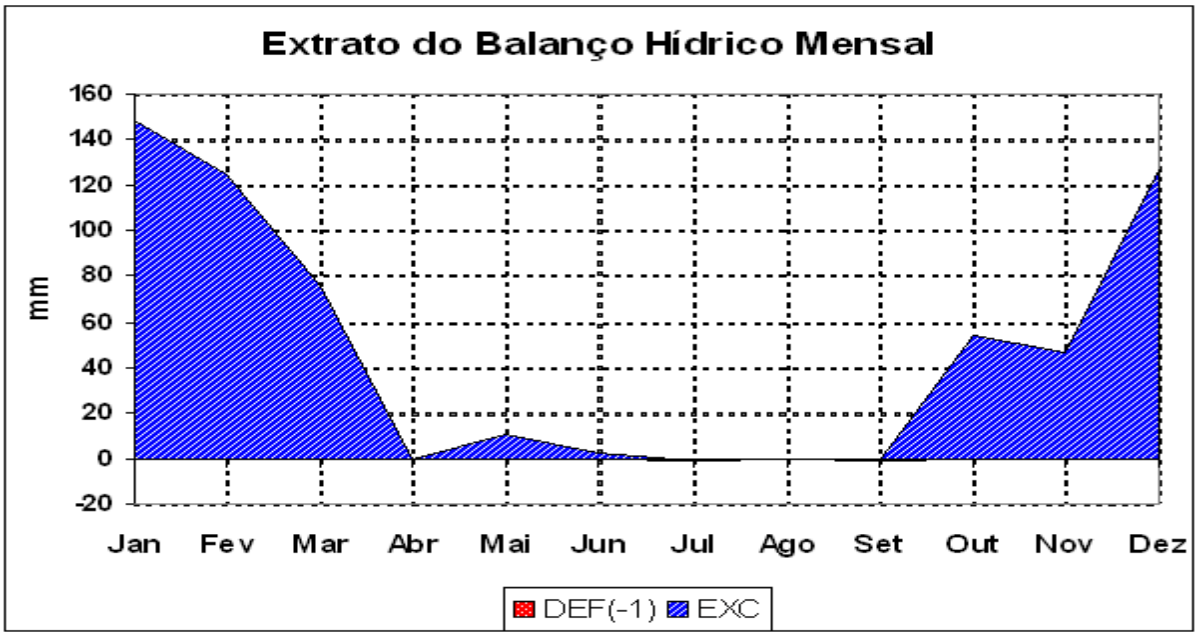


Figura 10: Balanço hídrico do município de Piracaia-SP (dados de 1953 a 1970). Fonte: EMBRAPA. Disponível em: http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=422

A partir dos dados pode-se que dizer que o clima da bacia hidrográfica do rio Piracicaba apresenta heterogeneidade em seus diferentes setores, sendo influenciado por diferentes fatores em superfície.

Essa heterogeneidade também se apresenta nas características pedológicas. A partir da análise da tabela 5, fica evidente o predomínio de Argissolos, Latossolos e Nitossolos, conforme evidencia Caram (2010).

Os Argissolos são solos de medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados. Apresentam, em sua maioria, um incremento no teor de argila, podendo ser utilizados para diversos tipos de culturas, desde que em terreno plano ou levemente ondulado, e sejam feitas correções de acidez e adubação. Devido à suscetibilidade à erosão, práticas de conservação são necessárias (EMBRAPA, 2010). Os Latossolos caracterizam-se por serem mais profundos, de textura média, argilosa ou muito argilosa. Por serem bem drenados, armazenam uma grande quantidade de água. São propícios à agricultura e à mecanização, pois ocorrem em terrenos planos ou levemente ondulados. Já os Nitossolos ocupam os terrenos ondulados e fortemente ondulados. Profundos e de textura argilosa, são facilmente erodíveis, e por consequência, suscetíveis a compactação (CARAM, 2010).

Tabela 5: Distribuição dos diversos tipos de solos na BHRP

Grupo	Nome	Área (%)
1	Cambissolos e Neossolos	9,22
2	Gleissolos, Organossolos e Planossolos	1,35
3	Latossolos e Nitossolos	39,58
4	Argissolos	43,64
5	Área urbana	4,35
6	Água	1,86
	Total	100,00

Fonte: Caram (2010).

A distribuição dos diferentes tipos de solos se torna de fundamental importância, uma vez que sua composição irá determinar uma maior ou menor absorção de água nos diferentes tipos de relevo, aumentando, assim, o risco de escorregamentos em determinadas áreas. Logo, a configuração entre eventos de chuvas intensas, áreas de densamente povoadas e solos

propensos a deslizamentos pode ser de fundamental importância para a ocorrência de um desastre natural.

Tabela 6: Características dos diferentes tipos de solos

	Grupos de Solos	Profundidade	Drenagem	Textura	Relevo
1	Cambissolos	raso a profundo	bem até imperfeitamente	média, argilosa ou muito argilosa	suave ondulado
	Neossolos	raso a pouco profundo	imperfeita	arenosa a argilosa	plano a forte ondulado
	Gleissolos	profundo	mal ou muito mal	média, argilosa ou muito argilosa	plano
2	Organossolos	raso a pouco profundo	mal ou muito mal	argilosa	plano
	Planossolos	pouco profundo	mal ou imperfeitamente	arenosa ou média(hor.A) e média ou argilosa (hor. B)	plano
3	Latossolos	profundo	fortemente a bem	média, argilosa ou muito argilosa	plano a suave ondulado
	Nitossolos	profundo	bem	argilosa ou muito argilosa	forte ondulado e ondulado
4	Argissolos	raso a profundo	forte a imperfeitamente	arenosa/argilosa (hor.A) e média/muito argilosa (hor.B)	ondulado a forte ondulado

Fonte: Caram (2010).

A dinâmica atual do uso do solo expressa exatamente o que Gallo (2001) verificou em seus estudos: o grande desenvolvimento econômico, seguido do avanço da urbanização, trouxe problemas ambientais graves, principalmente no que se refere à qualidade de suas águas. O crescimento urbano nas últimas 4 décadas pode ser considerado intenso na área de estudo, pois apresenta índices superiores em relação àqueles apresentados pelos Municípios do estado de São Paulo. Na década de 1970, enquanto a população paulista crescia a taxas médias de 3,5% ao ano, a BHRP apresentava índices de crescimento populacional de aproximadamente 5% ao ano, com índice de urbanização de 85%. Nas décadas seguintes, o ritmo se manteve acentuado, com índice de crescimento de 3,1% ao ano, e a urbanização chegando a 92% (NEGRI, 1992). Na década de 1990, é possível observar um ritmo menos acelerado, acompanhando a média nacional com crescimento de aproximadamente 2% ao ano. Já no período 2000 a 2005, essa taxa se manteve na mesma proporção que na década anterior apresentando uma projeção para o período de 2015 a 2020 de 1,19% com taxa de urbanização de 96,8% , segundo o Comitê das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Corumbataí e Jundiaí (2012).

Essas características se refletem no uso e na ocupação do solo na bacia do rio Piracicaba. A partir de 1985, a indústria, que antes se concentrava apenas em 10 municípios, Campinas, Limeira, Paulínia, Piracicaba, Rio Claro, Santa Bárbara d'Oeste, Sumaré, Valinhos e Vinhedo, começa a se dirigir para os menores centros e, consequentemente, a se diversificar, com bens de capital, consumo duráveis, química, petroquímica e mecânica (GALLO, 2001).

Por meio de investimentos nos eixos de desenvolvimento rodoviários, como Anhanguera e Bandeirantes, por exemplo, o governo federal incentivou a mudança de direção dos investimentos promovidos pelos empresários. É importante ressaltar que nesse mesmo momento, município de São Paulo evitava conceder quaisquer tipos de incentivos fiscais a novas indústrias, movimento feito em larga escala pelos municípios menores que contribuíram decisivamente para o processo de desconcentração industrial no estado de São Paulo e no Brasil como um todo (BORDO, 2005).

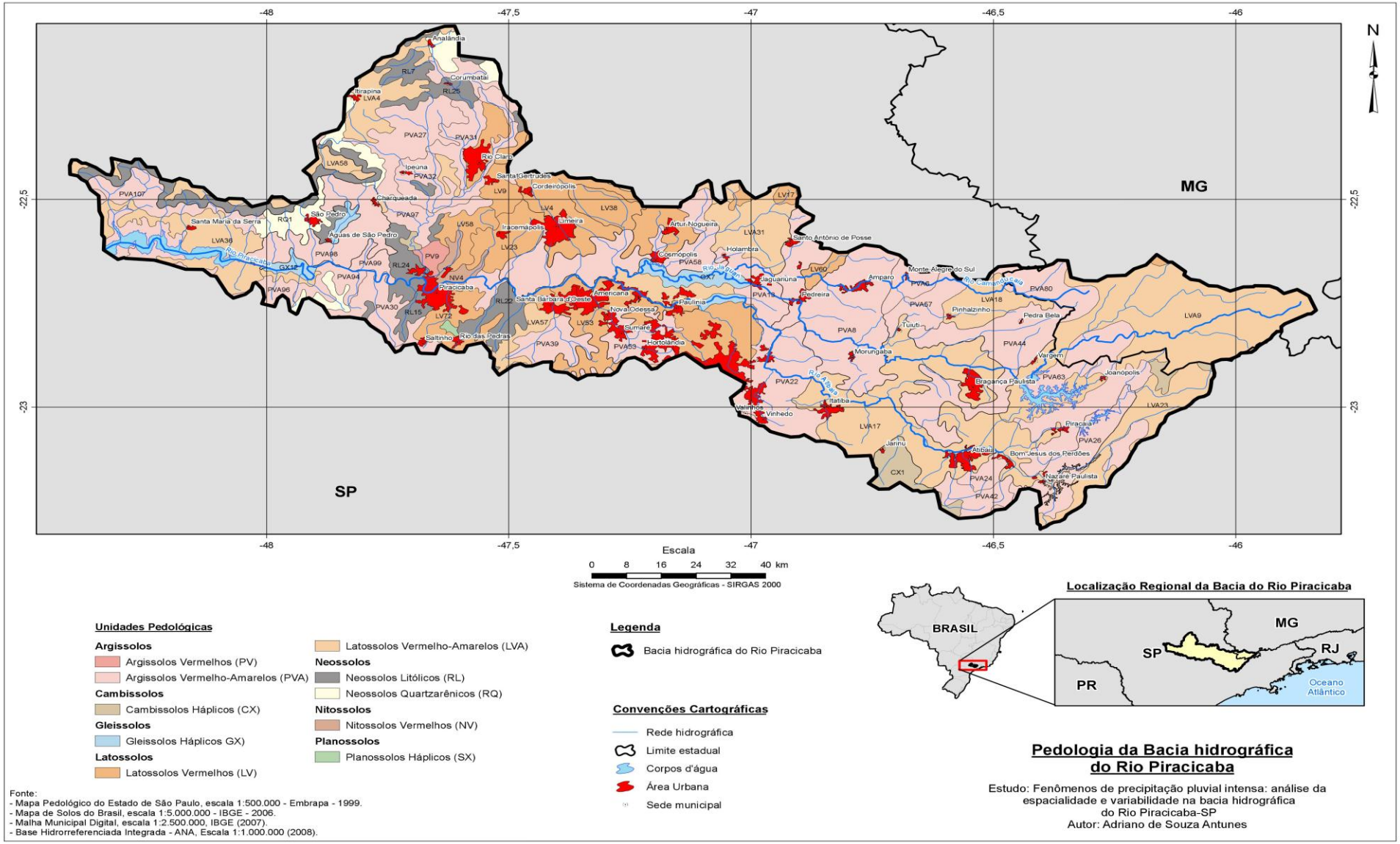


Figura 11: Mapa pedológico da Bacia do rio Piracicaba.

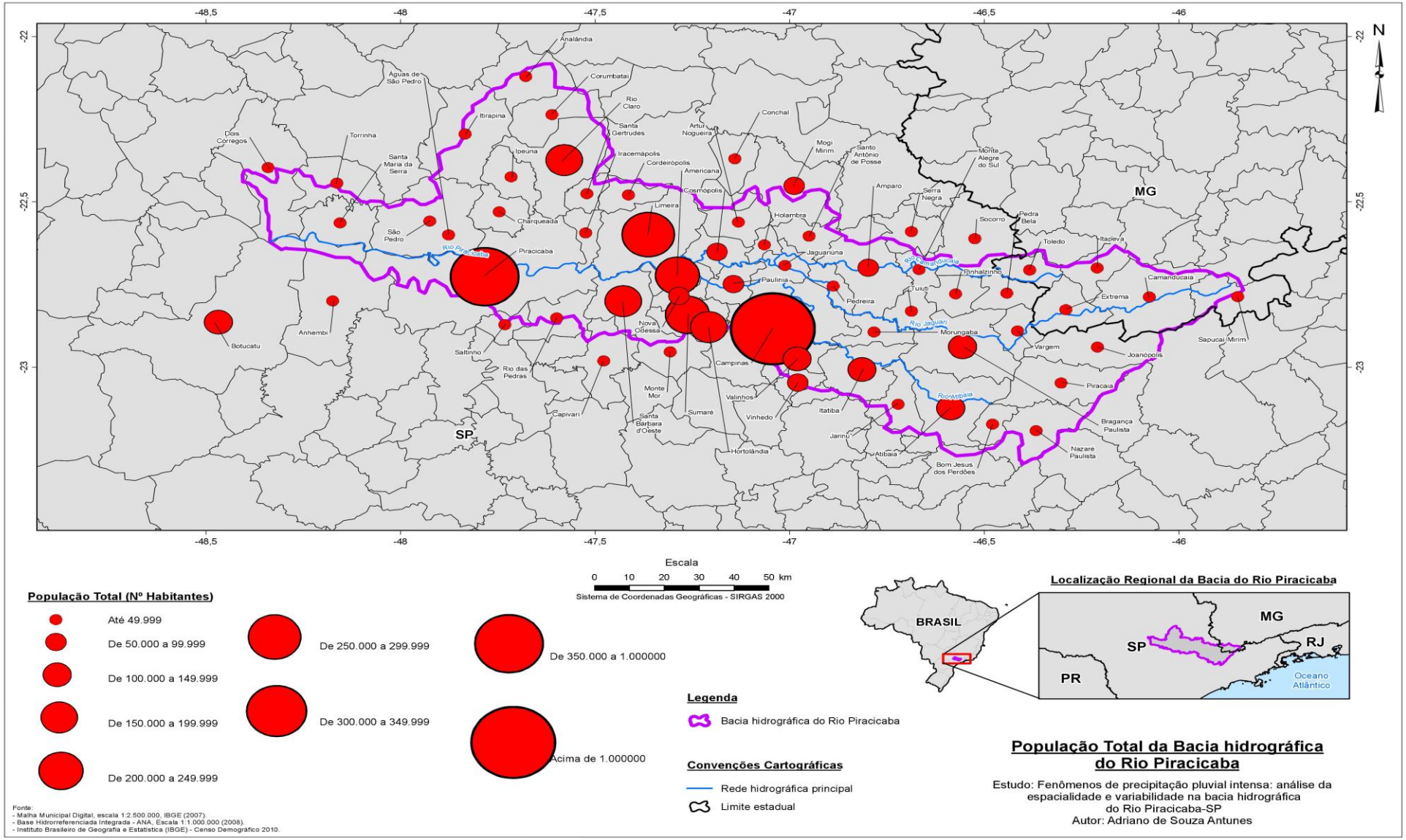


Figura 12: Distribuição populacional da Bacia do rio Piracicaba.

Aliada ao grande processo de industrialização, a modernização das atividades agropecuárias se fez por consequência, tornando a região um importante centro de produção de álcool, açúcar, suco de laranja, carnes e produtos avícolas. Isso pode ser verificado no mapa de uso do solo da BHRP; as áreas de pastagem, cana-de-açúcar, diversos tipos de culturas, silvicultura e floresta se sobressaem frente aos ambientes urbanos, conforme mostra a figura 13.

Os aspectos climáticos também favorecem o desenvolvimento da agricultura na região, visto que as geadas são esporádicas e não ocorre um período prolongado de deficiência hídrica, e os extremos de temperatura, máximas e mínimas, não chegam a causar grandes restrições (São Paulo, 1990).

Mesmo que a evolução industrial e urbana seja evidente, a força agropecuária dos Municípios que integram a bacia hidrográfica ainda se mostra de grande importância socioeconômica.

Por meio da junção dos elementos apresentados, as diferentes características da bacia hidrográfica do rio Piracicaba ficam mais evidentes, sejam elas físicas, econômicas ou sociais, podendo o pesquisador obter resultados mais concretos.

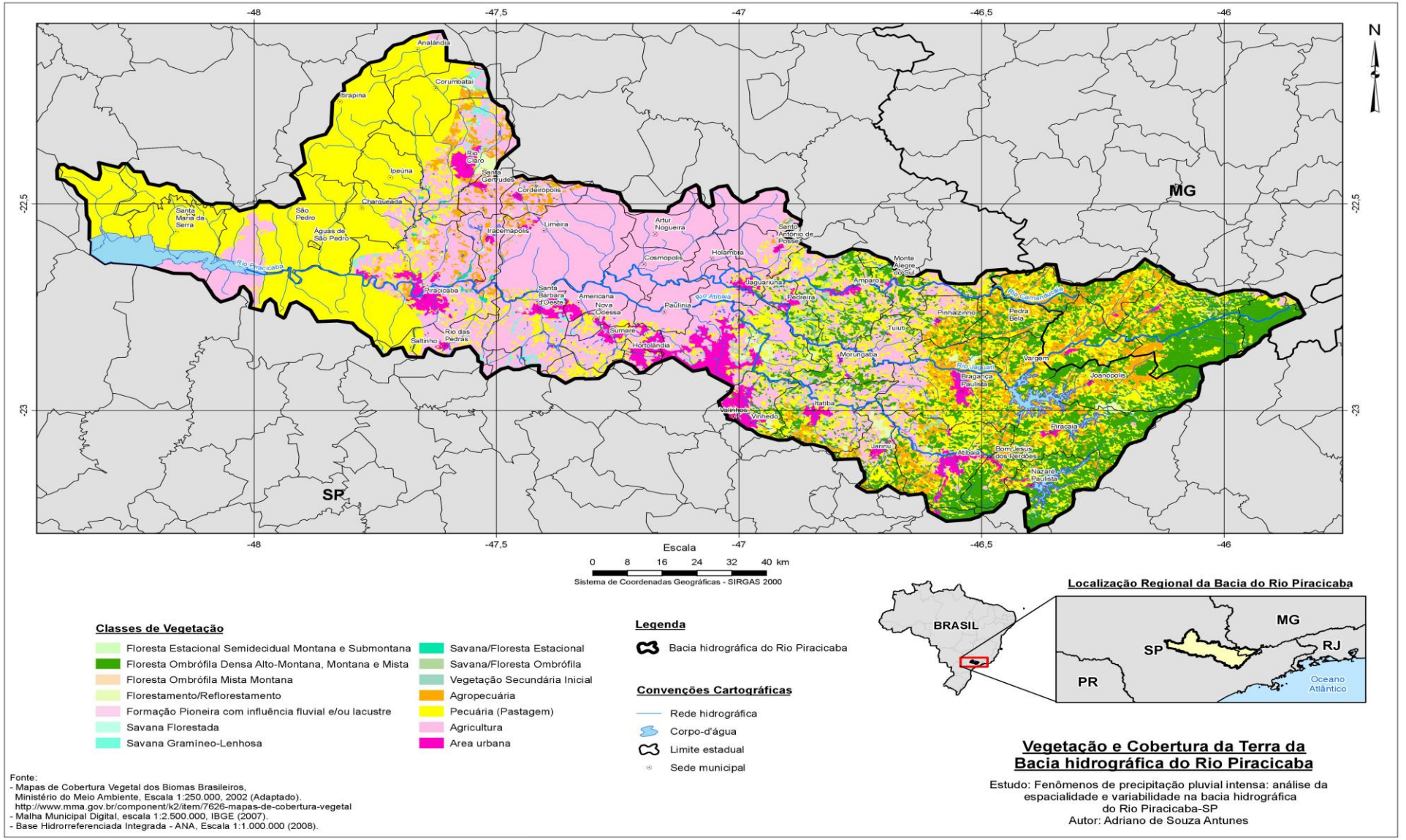


Figura 13: Mapa de uso do solo da Bacia do Rio Piracicaba.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para se compreender como um fenômeno natural atua em uma determinada região, é preciso observar as várias características dos diferentes elementos inseridos dentro do espaço em questão. Dessa forma, as abordagens não ficam restritas à própria climatologia, mas transcendem à geomorfologia, à geologia, às características econômicas e sociais do local.

A partir da compreensão de como esses elementos interagem, fica simplificada a tomada de decisões por parte do poder público no que tange à amenização dos efeitos causados por grandes fenômenos naturais. Desta maneira, a teoria sistêmica se apresenta como grande fomentadora de um número elevado de pesquisas geográficas, biológicas e geológicas, entre outras.

2.1 - A teoria sistêmica

Durante os séculos, conforme o conhecimento humano evoluiu, diversas teorias e métodos de investigação científicas foram desenvolvidos visando atender as atuais demandas da sociedade. Assim, a ciência passou a contar com um sistema complexo e organizado, pois a própria sociedade mudou; aspectos tecnológicos, econômicos e até filosóficos sofreram alterações ou adaptações conforme os anos se passaram. Segundo Conti (1997), o conhecimento científico pode ser definido como

> [...] o conjunto de idéias estabelecidas e conectadas entre si, isto é, organizadas segundo uma ordem lógica. Baseia-se em teorias pré-formuladas também conduz à construção de novas teorias ou paradigmas. A ciência é analítica, explicativa e propõe questionamentos. (CONTI, 1997, p.20)

Durante o século XX, diversos autores já apontavam para a necessidade de uma rediscussão da ordem científica vigente, entre eles Bertalanffy, 1973. Muitos cientistas não

encontravam mais resposta a diversas questões do momento, pois vários problemas não apresentavam a linearidade esperada, mas sim “complexa, integrada e por vezes caótica” conforme Vicente e Perez Filho (2003). Deste modo, o autor tenta implementar a primeira sistematização do conceito de sistemas na época, porém sem muita aceitação por parte dos pesquisadores.

Com a chamada "Teoria Geral dos Sistemas", Bertalanffy (1973) propunha a integração entre todos os campos de conhecimento, englobando os saberes em um campo único de análise. A partir dessa análise, como afirma Morin (1977), os elementos passam a ser investigados em suas especificidades, e não de acordo com suas leis gerais.

Diversos autores já instituíram sua ideia sobre o que pode ser considerado um sistema. Bertalanffy (1973) o define como um "conjunto de elementos em interação”, para Christofoletti (1979), um sistema é composto por matéria, energia e estrutura.

Com relação à geografia, podemos dizer que a teoria dos sistemas dinamizou seu potencial de análise e integrou grande parte dos campos de conhecimento dessa ciência. Sendo assim, a ciência geográfica insere-se nesse sistema, pois desde sua compreensão como tal, passou a fazer parte dos debates acerca das diferentes abordagens do meio ambiente, da paisagem e, finalmente, do grande enfoque da geografia, a relação sociedade-natureza, como já abordavam Ritter e Humboldt no século XVIII, propondo questionamentos, hipóteses e possíveis explicações sobre os diversos acontecimentos (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

Baseando-se na ideia de integração entre os elementos, a Geografia utilizará o conceito de sistemas e passará a adotar a abordagem geossistemica ou simplesmente o conceito de geossistemas. A geografia física irá se destacar, utilizando esse conceito como base para grande parte de seus trabalhos. Diversos autores se destacaram nessa abordagem, entre eles Sotchava (1977), Tricart (1977) e Bertrand (1972).

Bertrand (1972 p.27) aborda a ideia de geossistema como uma categoria concreta de espaço, no qual o autor explora seus aspectos antrópicos, biológicos e ecológicos. Entretanto, o mesmo autor percebendo a dificuldade da aplicação do conceito, reduzirá o mesmo a um "modelo teórico da paisagem" (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003). A partir dessa questão, tanto Sotchava quanto Bertrand estarão no cerne das discussões a respeito do objeto de estudo da Geografia, pois segundo suas concepções, a os sistemas representariam uma amplitude no arcabouço teórico metodológico da ciência geográfica.

Monteiro pode ser considerado um dos grandes precursores da Geografia no Brasil no que tange à análise sistêmica da paisagem. Em seu estudo realizado em 2001, o autor irá abordar a paisagem a partir de um enfoque dinâmico, no qual o clima e as características atmosféricas de um determinado local irão interagir com as especificidades da paisagem dando origem as diferentes paisagens. Para o autor

> [...] a paisagem é vista de um modo bem mais dinâmico porquanto não ignora as relações, seus feed-backs e interações, de modo a configurar um verdadeiro "sistema" onde as áreas pertinentes a ela estão muito além das formas e aparências assumidas pelos elementos, sendo capazes, até mesmo de provocar importantes reações em áreas distantes. Isso decorre do fato: o homem é considerado na paisagem como qualquer outro elemento ou fator constituinte do sistema paisagem (geossistema) por que ele desempenha aqui um papel realmente ativo (MONTEIRO, 2001, p. 97).

Contudo, nesse mesmo trabalho, Monteiro (2001), afirma que as discussões a respeito do conceito de Geossistema ainda estão em andamento no Brasil, visto que as variáveis antrópicas e naturais devem ser integradas, constituindo assim o "estado real da qualidade do ambiente". Vicente e Perez (2003), em seus estudos, elaboraram um esquema evolutivo na

análise espacial dos sistemas (figura 14) no qual as indagações de Monteiro ficam evidentes uma vez que as derivações futuras dos sistemas, no campo geográfico, ainda parecem indefinidas.

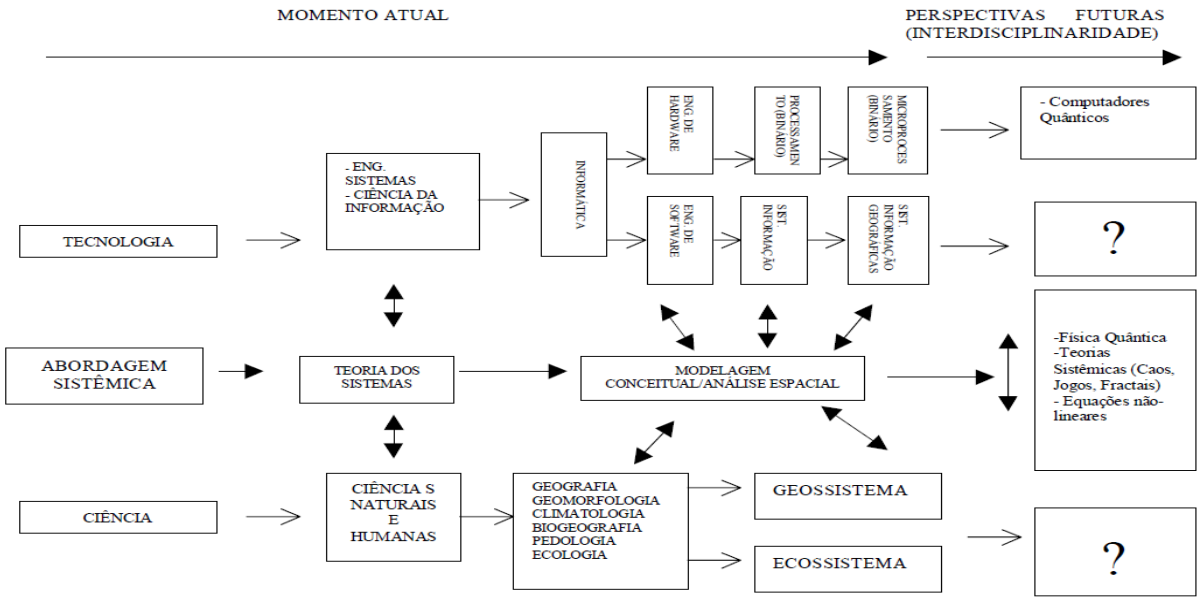


Figura 14: Evolução da aplicação da abordagem sistêmica em análise espacial. Fonte: Vicente e Perez (2003).

Limberger (2006), deixa claro que a partir dessas características fica evidente o papel da geografia em compreender os diversos elementos do espaço e, a partir daí, explicá-los, organizá-los e posteriormente planejá-los. A análise de espaços delimitados nos quais todos os elementos se interligam estão em grande parte dos estudos geográficos atuais. Como exemplo, podemos citar a análise das bacias hidrográficas, espaço de estudo do presente trabalho.

2.2 - A Bacia hidrográfica como escala de análise

A bacia hidrográfica se torna fundamental para a compreensão dos diversos elementos existentes dentro de um grande fenômeno, ou seja, é possível entender as especificidades dentro de um espaço delimitado, corroborando com a teoria dos geossistemas. Assim, de acordo com o princípio número 1 da Declaração de Dublin, que foi publicada em 1992, a

gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, demanda uma abordagem holística, de uma forma que o desenvolvimento social e econômico possam estar acompanhados da proteção dos ecossistemas.

Conceitualmente, alguns autores definiram o que é uma bacia hidrográfica. Dunne e Leopold (1978), em seu abrangente trabalho, a definiram como uma determinada área de terreno que drena água, partículas de solo e material dissolvido para um ponto de saída comum, situado ao longo de um rio, riacho ou ribeirão. Para Tucci (1997), a bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies, vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

Rodrigues e Adami (2011, p. 57), definem a bacia hidrográfica como

> [...] um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interno e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação, armazenamento, e de saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais.

Nessa definição, fica evidente que o conhecimento sobre os fluxos e circulação da água se torna extremamente necessário, já que os processos hidrológicos se constituem em um sistema aberto, composto por outros subsistemas, sendo os principais as vertentes, os canais fluviais e as planícies de inundação (RODRIGUES e ADAMI, 2011).

Os fluxos de energia que entram no sistema (input) e que saem (output) podem gerar uma dinâmica própria, podendo causar equilíbrio ou desequilíbrio, dependendo da intensidade de cada fluxo. Segundo Zavoianu (1985), a precipitação é a principal fonte de matéria para um sistema hidrográfico e a radiação solar a maior fonte de energia.

A figura 15 demonstra como a água se insere nesses sistemas através dos diversos níveis, incluindo sua chegada, circulação, permanência e saída.

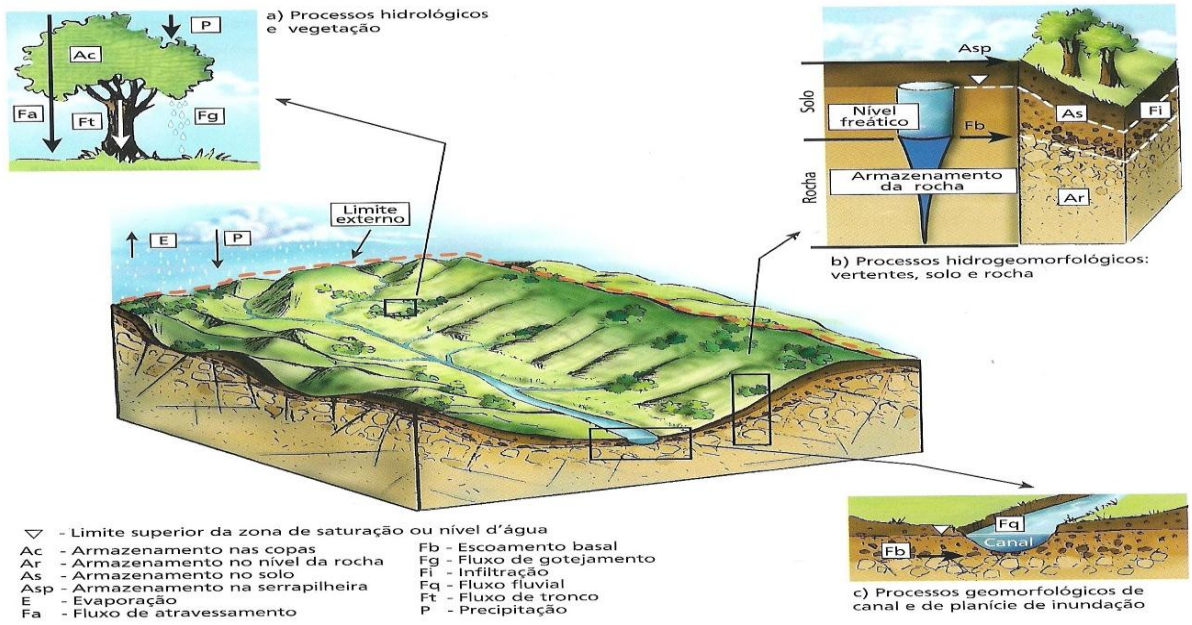


Figura 15: Processos decorrentes da entrada de água no sistema. Fonte**:** Rodrigues e Adami (2011).

Dentro da evolução da utilização da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, podemos citar a Constituição de 1988 que no artigo 21, inciso XIX, atribui a União "instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de uso".

Atendendo às demandas do artigo 21, em dezembro de 1991, a Lei 9.663 divide o estado de São Paulo em 22 unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs). Essa medida vai ao encontro às premissas do artigo 21, pois atribui uma maior dinamização no uso e administração dos recursos hídricos. Logo, a BHRP ocupa a unidade 5, que compreende também as bacias hidrgráficas dos rios Jundiaí e Capivari.

Posteriormente, em 1997, um passo importante é dado em relação gerenciamento dos recursos hídricos do país. Nesse momento, é instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e posteriormente o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os

principais órgãos criados a partir dessas medidas são os Comitês de Bacias Hidrográficas e a Agência Nacional de Águas.

Em 15 de Outubro de 2003, a Resolução número 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos define as Regiões Hidrográficas Brasileiras. Os critérios utilizados para tal divisão não ficam restritos somente à homogeneidade em relação aos ecossistemas, mas abrangem critérios sociais e econômicos (CNRH, 2003). Em 2001, é criado o órgão responsável pela estrutura institucional de recursos hídricos, a chamada ANA (Agência Nacional de Águas). A partir desse momento, o país passa a contar efetivamente com uma política nacional de recursos hídricos, simplificando o gerenciamento de recursos das bacias hidrográficas.

Atualmente, a bacia hidrográfica é uma das referências espaciais mais utilizadas nos estudos do meio físico, pois seu entendimento pode subsidiar ações públicas que podem proporcionar um controle mais efetivo sobre esses recursos, assim como sobre os eventos emergenciais.

2.3 - Desastres naturais, vulnerabilidade e áreas de risco

Os fenômenos intensos sempre estiveram presentes na história do planeta, seja com grandes glaciações, aumentos de temperaturas, chuvas intensas e até mesmo com meteoritos que devastaram a vida em nosso planeta. A força de cada um deles irá depender da intensidade e da duração dos eventos. Atualmente, as discussões sobre esses acontecimentos aumentam à medida que novas pesquisas surgem e apontam a origem dos eventos, a hipótese do aquecimento global e, consequentemente, das mudanças climáticas, colocando em segundo plano fatores primordiais como, por exemplo, o grande adensamento urbano ocorrido no Brasil nas últimas décadas.

Marcelino (2007), em seu estudo, exemplifica o conceito de desastre natural conforme a figura 16. Segundo o autor, existem diversos fenômenos que ocorrem na natureza

que moldam e transformam a paisagem. Caso esse fenômeno siga em direção ao sistema social, pode ser gerada uma situação potencial de perigo. Dessa maneira, será considerado um desastre quando ocorrerem prejuízos de difícil reparo. Se o sistema atinge uma paisagem natural, sem quaisquer tipos de danos sociais, o mesmo volta a ser considerado natural.

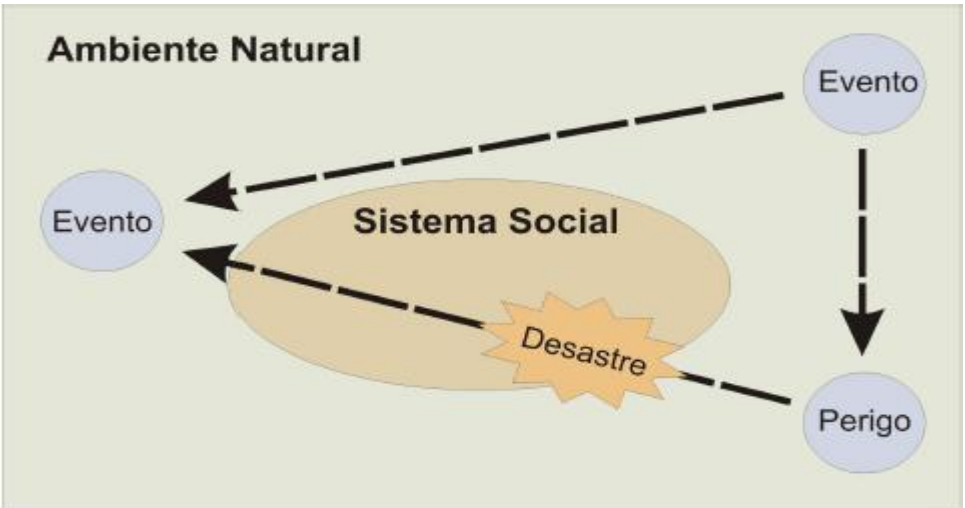


Figura 16: Relação entre eventos e desastres naturais. Fonte: Marcelino, 2007.

No Brasil, segundo Marcelino (2007), as inundações predominam quando falamos em consequências causadas pelos eventos do clima. Em seu estudo, 59% das ocorrências estão ligadas às inundações. Grande parte se deve ao nosso regime climático, concentrando as chuvas no verão e em grandes volumes, ao alto grau de impermeabilização dos grandes centros urbanos e, finalmente, a ocupação de áreas consideradas inadequadas, por exemplo, as planícies alagáveis dos rios. Ainda de acordo com Marcelino (2007), esses desastres concentram-se predominante nas regiões Sudeste e Sul. Para o autor, essa distribuição está mais associada "às características geoambientais e climáticas do que as socioeconômicas das regiões afetadas, já que as favelas, os bolsões de pobreza e a ausência de planejamento estão presentes na maioria dos grandes centros brasileiros".

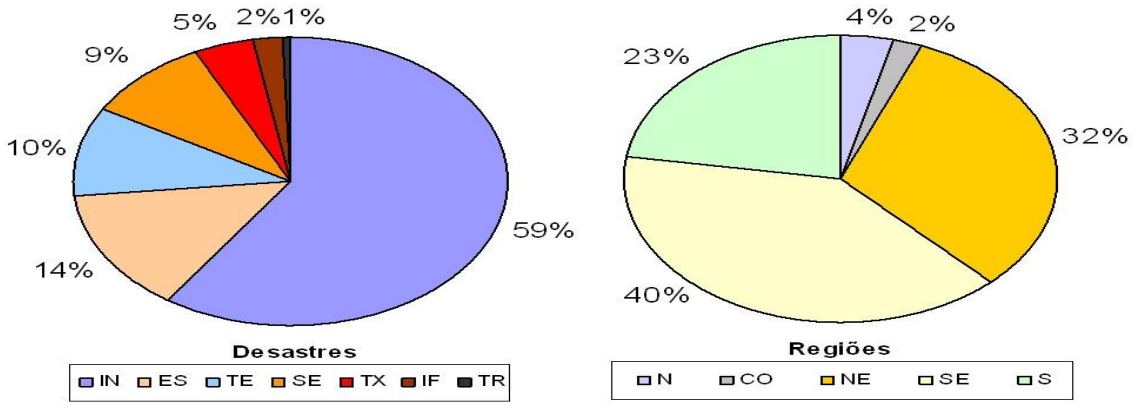


Figura 17: Tipos de desastres ligados ao clima ocorridos no Brasil (1900-2006).Legenda: IN – Inundação, ES – Escorregamento, TE –Tempestades, SE – Seca, TX – Temperatura Extrema, IF – Incêndio Florestal e TR – Terremoto. Fonte: Marcelino (2007).

Entretanto, para Alcantara-Ayala (2002), a ocorrência dos desastres naturais não está somente ligada à susceptibilidade dos mesmos, devido às características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto, isto é, o sistema econômico-social /político-cultural, pois é comum que os países em desenvolvimento não possuam boa infraestrutura, sofrendo muito mais com os desastres do que os países desenvolvidos, principalmente quando relacionado ao número de vítimas.

Kobiyama et al., buscando uma quantificação de valores em seu estudo em 2006, afirmou em escala mundial que cada R$1 investido em prevenção equivale, em média, entre R$ 25 e 30 de obras de reconstrução pós-evento. As chances de um determinado evento de chuva causar tais acontecimentos são fortemente afetadas por fatores diversos como precipitação anterior, o tamanho da bacia hidrográfica da região, a topografia regional, a quantidade de uso urbano dentro da bacia, entre outros (DOSWELL III et al., 1996).

A partir dos elementos citados, percebe-se que ações de prevenção parecem ser a melhor solução para amenizar os efeitos dos desastres naturais. Contudo, para prevenir é necessário conhecer toda as características climática do local. No caso da BHRP, onde predominam as enchentes, inundações e alagamentos como grande fomentadores dos

desastres, compreender os fenômenos que trazem as grandes chuvas se faz extremamente necessário.

2.4 - Principais elementos e fenômenos que atuam na gênese dos eventos intensos de precipitação na região da Bacia hidrográfica do rio Piracicaba

Por meio da revisão bibliográfica sobre o tema, verifica-se uma rica literatura acerca dos acontecimentos climáticos na região, sendo amplamente abordadas as características sinópticas de meso e micro escalas, assim como elementos em superfície. A partir do conhecimento sobre como esses mecanismos atuam de forma conjunta, é possível estabelecer uma possível dinâmica climática para o local de estudo.

É sabido que as médias latitudes apresentam áreas potencialmente favoráveis à ocorrência dos eventos intensos de precipitação. Em seus trabalhos, Lima (2010) e Brooks et al., (2003) apresentam características atmosféricas desses ambientes que os tornam propícios a ocorrência de grandes trovoadas.

Brooks et al., 2003, em seu estudo, mostram as áreas propensas a receber os eventos intensos no período de 1997 a 1999. Utilizando os perfis verticais atmosféricos gerados através das Reanálises do NCEP/NCAR, os autores mostram graficamente, nas diferentes regiões do mundo, as áreas mais problemáticas em relação à quantidade de eventos severos.

Lima (2010) destaca os fenômenos responsáveis pelos eventos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil, região onde se encontra a BHRP, entre eles os Sistemas Frontais (SF) e a Zona Convectiva do Atlântico Sul (ZCAS).

As frentes frias se originam do encontro de dois sistemas com características distintas. A massa de ar polar, mais densa, avança e se choca com a massa de ar quente. Por ser menos denso, o ar quente se eleva, se for necessariamente úmido, ocorrerá a condensação, dando

origem às nuvens *cúmulus* e, em seguida, poderão se formar as grandes *cumulonimbus* (CBs), associadas às grandes tempestades e trovoadas (LIMA, 2010).

Rodrigues et al (2004) identificaram a região centro-sul do continente, localizada entre os dois anticiclones subtropicais, do Pacífico e do Atlântico Sul, como altamente frontogenética, ou seja, favorável à formação e intensificação de frentes.

Cavalcanti e Kousky (2009) estudaram as frentes frias no período de 1979 a 2005, buscando as características da precipitação nos meses de Setembro, Outubro e Novembro. Os autores verificaram um aumento da precipitação durante e após a passagem do evento no Sudeste do Brasil. Após aproximadamente 3 dias, houve um deslocamento do sistema, levando a precipitação para o Nordeste.

Para alguns pesquisadores, a ocorrência das frentes frias traz como consequência o fenômeno da ZCAS. Andrade (2005) estudou casos de eventos extremos de precipitação, nos quais verificou que, no verão, o avanço da frente fria no litoral do Sudeste foi um dos responsáveis para o início da ocorrência das ZCAS. Segundo o Kousky, 1988, as ZCAS possuem as seguintes características:

> [...] uma banda persistente de precipitação e nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da Amazônia até o Atlântico Sul-Central por alguns milhares de quilômetros....

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC),

> As variações da ZCAS podem ser atribuídas às frentes (escala sinótica), mudanças dentro de uma estação (escala intra-sazonal), El Niño e La Niña (escala interanual), variações nas temperaturas do oceano em longo termo (escala interdecadal), além de outros motivos. Assim, as ZCAS estão associadas à condição de chuvas intensas em algumas regiões e estiagem em outras [...]

Desta forma, como mostra a figura 18, esse fenômeno é responsável por grande parte da precipitação na região Sudeste e, consequentemente, na BHRP.

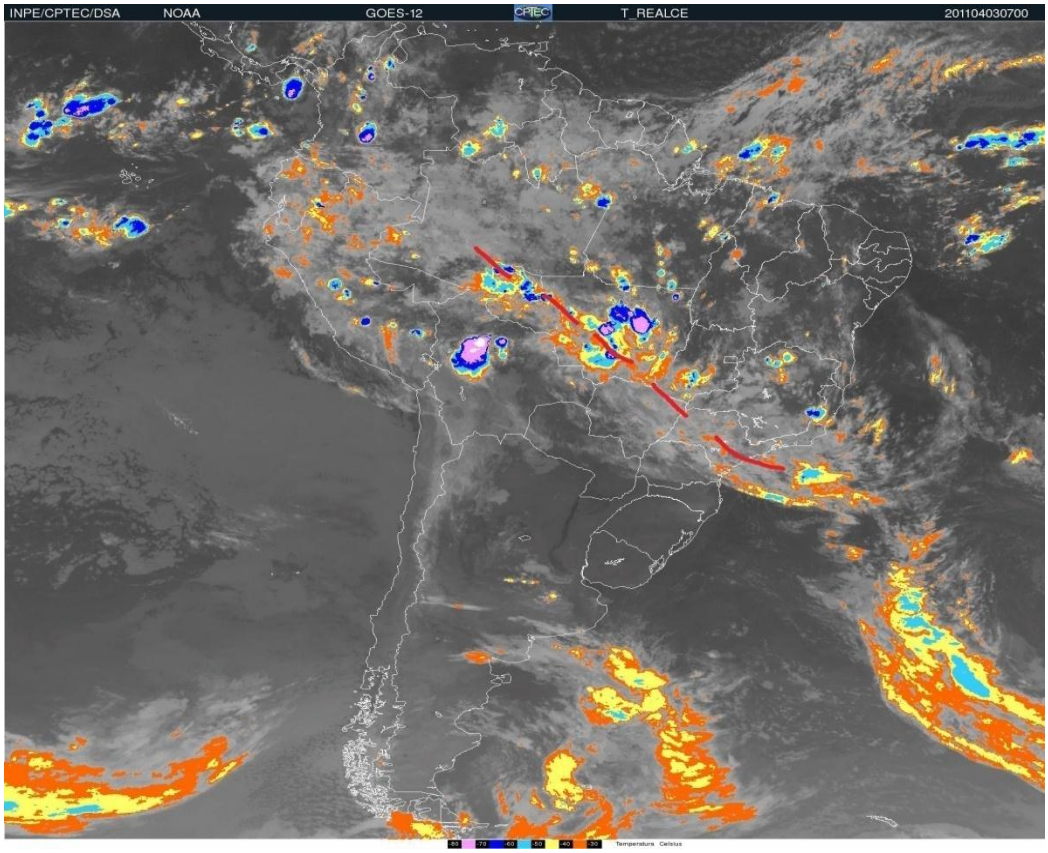


Figura 18. Zona de Convergência do Atlântico Sul em 04 de março de 2011. Horário 7: 00 GMT. Imagem realçada GOES-12. Fonte: CPTEC/INPE.

Sendo assim, a ZCAS pode ser definida como um dos responsáveis pelas chuvas intensas na região Sudeste do Brasil no verão, já que uma de suas principais características é a persistência, facilitando, deste modo, a ocorrência de deslizamentos de vertentes, enchentes e inundações.

Outro fenômeno climático que pode ser considerado importante e que é responsável por parte dos eventos de precipitação intensa, como afirmam Scolar e Figueiredo (1990) e Figueiredo e Scolar (1996), são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs). Dentre as principais características desse sistema, podemos citar a longa duração, o desenvolvimento

noturno, a formação sobre o continente e a máxima ocorrência nos meses de Novembro a Janeiro. (VELASCO e FRITSCH, 1987).

No sul do Brasil, os CCMs são os grandes fomentadores dos tempos severos devido à frequência com que ocorrem, impulsionados principalmente por características sinópticas e topográficas, como afirma Severo (1994). Figueiredo e Scolar (1996) estudaram os movimentos dos CCMs na América do Sul e concluíram que aproximadamente 70% dos sistemas se deslocaram para leste e sudeste, atingindo o Sul do Brasil, e 30% se dirigem para norte e nordeste, alcançando o Sudeste brasileiro. Dessa forma, atingem a região em menor escala, porém com grande intensidade.

Finalmente, não podemos deixar de lado a influência da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na variabilidade da precipitação no Brasil. O fenômeno ENSO, tanto na fase positiva quanto na negativa, irá determinar os padrões interanuais de chuva. Diversos autores já citaram essa influência, como por exemplo, Rao e Hada (1990), que correlacionaram as precipitações no Brasil com o Índice de Oscilação Sul (IOS), obtendo valores negativos para a região Sul no outono e na primavera; Ropelewski e Halpert (1987) analisaram séries temporais e precipitação em 1700 estações e identificaram as principais regiões do globo cuja precipitação está relacionada ao evento El Niño, associando o período na America do Sul ao incremento das chuvas na primavera e verão.

Dessa maneira, podemos perceber a gama de sistemas e fenômenos climáticos que podem ocasionar eventos de precipitação intensa. Porém, conceitualmente, os fenômenos variam de local para local, sendo necessária uma definição diferente, corroborando com as especificidades da área de estudo em questão.

2.5 - Eventos de precipitação pluviométrica intensa

Dentro dos estudos climatológicos, a definição do que é um evento de precipitação intensa permeia grande parte dos trabalhos. Verificando os escritos de diversos autores, é

possível perceber que o conceito utilizado se aplica, muitas vezes, somente à área estudada, sendo extremamente abrangentes as características de cada evento citado.

De acordo com Zhu e Thot (2001), um evento climático extremo é aquele que ocorre em um dos extremos em uma distribuição de uma determinada frequência climatológica. Carvalho et al. (2002) definiram como evento extremo de precipitação líquida aquele que proporcionou 20% ou mais do total climatológico em uma estação, em 24 horas.

Chaves e Cavalcanti (2000) consideraram como eventos extremos aqueles com precipitação diária acima de 300% da média climatológica e com persistência de três dias. Konrad (1997) estudou 312 eventos de chuva intensa sobre o sudeste dos Estados Unidos, definindo como evento extremo aquele que produziu no mínimo 50 mm de precipitação em uma ou em mais estações em um período de seis horas. Espírito Santo e Satyamurty (2002) definiram que um evento de chuva poderia ser considerado extremo quando, em um período de 24 horas, ocorresse um total de chuvas entre 100 e 150 mm.

Severo (1994), que estudou os eventos intensos na bacia do rio Itajaí, associou os casos a ocorrência de enchentes. Entretanto, devido a pequena amostragem, selecionou a média diária de 50 mm como objeto de análise de seu trabalho.

Já Back et al, 2012, estimaram a precipitação máxima com período estabelecendo relações com os eventos de retorno num período de 2 em 100 anos em Santa Catarina utilizando a distribuição de Gumbel-Chow.

Zanella, 2006, estudou os eventos intensos no Município de Curitiba e os impactos gerados num bairro local. O limiar de 60 mm em 24 horas foi adotado e posteriormente um aumento no número de caos foi observado.

Sendo assim, adotar os critérios elaborados por outros autores pode ser considerado inadequado já que as características climáticas dos locais de estudos podem não ser semelhantes, prejudicando os resultados da pesquisa. Nestes casos, é condição *sine qua non*

que as áreas de estudo sejam semelhantes, caso contrário, um novo conceito deve ser elaborado, como aquele elaborado na presente pesquisa.

3. METODOLOGIA E TÉCNICAS

3.1 Obtenção dos dados

Para a realização do estudo foram analisados dados diários de precipitação no período de 1981 a 2010, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) por meio do sistema HidroWeb, disponível no sítio hidroweb.ana.gov.br e pela ESALQ. Foram escolhidas 51 estações e postos pluviométricos, sendo 29 intrabacia e 22 extrabacia. Para a seleção das estações, contemplou-se a consistência da coleta, ou seja, a série deveria estar completa entre 1981 e 2010.

A necessidade dos postos extrabacia se faz presente devido ao método da interpolação, utilizado para estimar a distribuição da precipitação no interior da bacia hidrográfica com uma menor margem de erro, o qual será explanado de melhor forma nos itens posteriores. Para a elaboração dos diferentes mapas, foi utilizado o software ArcGis 9.3, com a bases cartográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do CPRM (Serviço Geológico do Brasil). A distribuição espacial dos postos pluviométricos se torna extremamente importante, visto que quanto maior a densidade, maior será a confiabilidade nos resultados da pesquisa. A figura 19 mostra a localização exata dos postos utilizados na presente pesquisa.

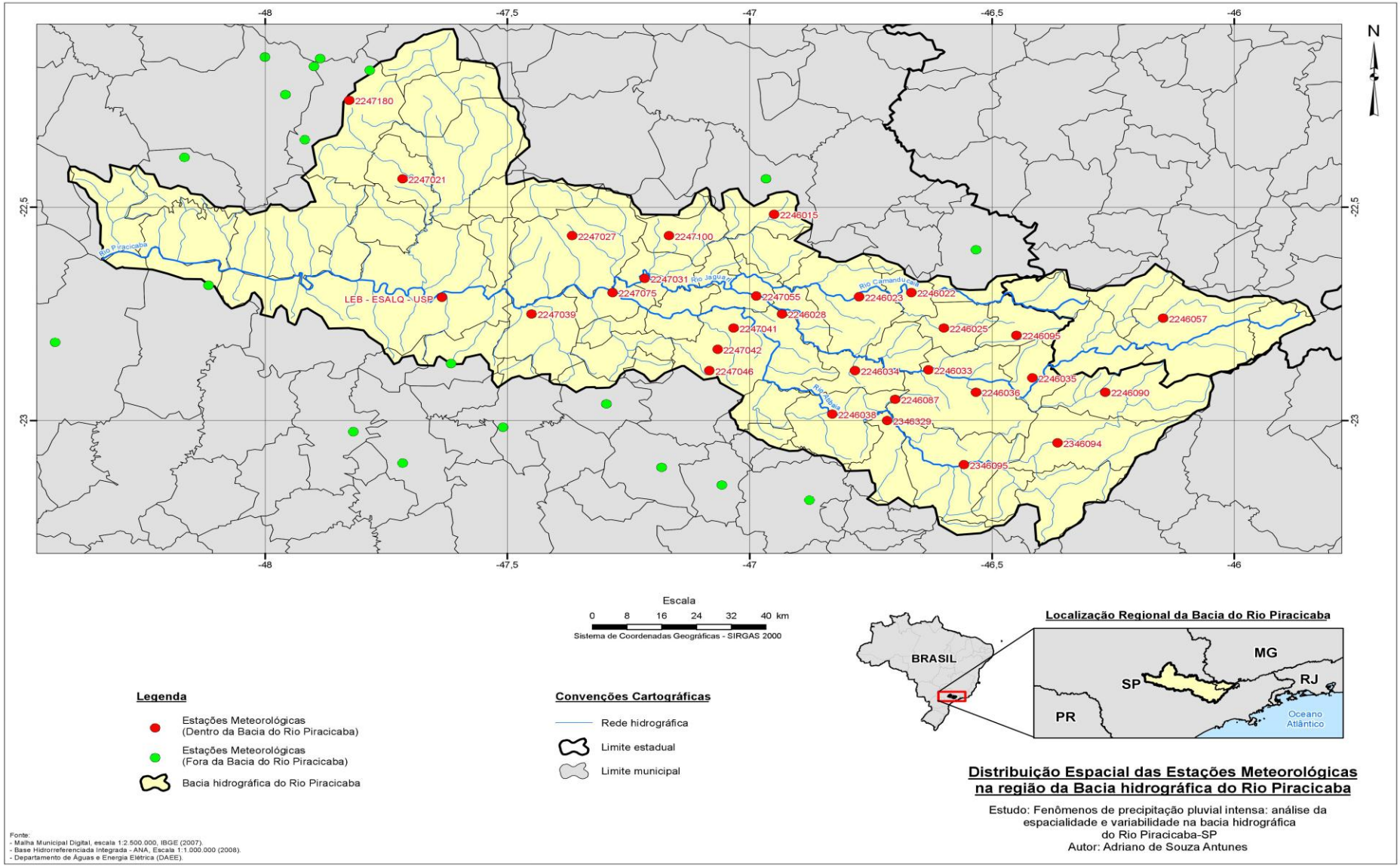


Figura 19: Distribuição dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa.

3.2 A consistência do banco de dados e a espacialização da precipitação

A consistência do banco de dados se torna fundamental para o desenvolvimento de qualquer pesquisa. No presente trabalho, a inconsistência no banco de dados representa 0,25% no total de 51 postos verificados em uma série histórica de 30 anos.

Para a realização da espacialização da precipitação, foi utilizado o método da interpolação com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado fenômeno por meio de dados de um determinado local (JIMENEZ; DOMECQ, 2008).

Existem diversos métodos de interpolação, entre eles, é possível citar: o Inverso da distância ponderada, Krigagem e o método dos vizinhos mais próximos. Desta maneira, o método utilizado deverá atender às expectativas da pesquisa, cabendo ao autor avaliar qual deles deverá trazer resultados pertinentes (LENNON; TUNNER, 1995).

No presente trabalho foi utilizado o método da Krigagem, realizado no software ArcGis, 9.3. Esse método possibilita gerar representações isarítmicas a partir de dados irregularmente espaçados e compreendendo um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies utilizadas para aproximar dados (MARQUES et al., 2012).

Silva et al. (2007), e Correa (2013), utilizaram interpoladores em seus estudos e evidenciaram a maior precisão da Krigagem para a espacialização das variáveis climáticas em uma mesma bacia hidrográfica.

A escolha dos 51 postos se deu com a ideia de máxima representatividade dentro da bacia hidrográfica estudada. Assim, a necessidade de postos extrabacia se fez presente, de forma a buscar com maior precisão a dinâmica pluviométrica da bacia hidrográfica. Entretanto, para a representação dos eventos de precipitação intensa, foram utilizadas somente as estações intrabacia, já que a análise dos eventos se dá na bacia hidrográfica. Os postos extrabacia foram necessários para que se obtivesse a dinâmica pluviométrica como um todo da área de estudo.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994) a densidade mínima de postos pluviométricos para a análise climatológica em áreas planas no interior do continente é de 575 km^2. Para a realização dessa estimativa, foram considerados os aspectos físicos das diferentes paisagens, ou seja, relevo, características climáticas, entre outros.

Observando a figura 20, pode-se observar que, segundo o método proposto pela WMO, a área da bacia hidrográfica possui uma boa cobertura em relação a existência de postos pluviométricos, mais precisamente 73% da área conforme figura 21. Para a elaboração do raio de abrangência (buffer) dos postos pluviométricos, foi utilizada a fórmula da área do círculo representada abaixo.

$$A = \pi r^2$$

$$575 = 3{,}1415.r^2$$

$$\sqrt{575/3{,}1415} = r$$

$$r = 13{,}5\ km$$

.

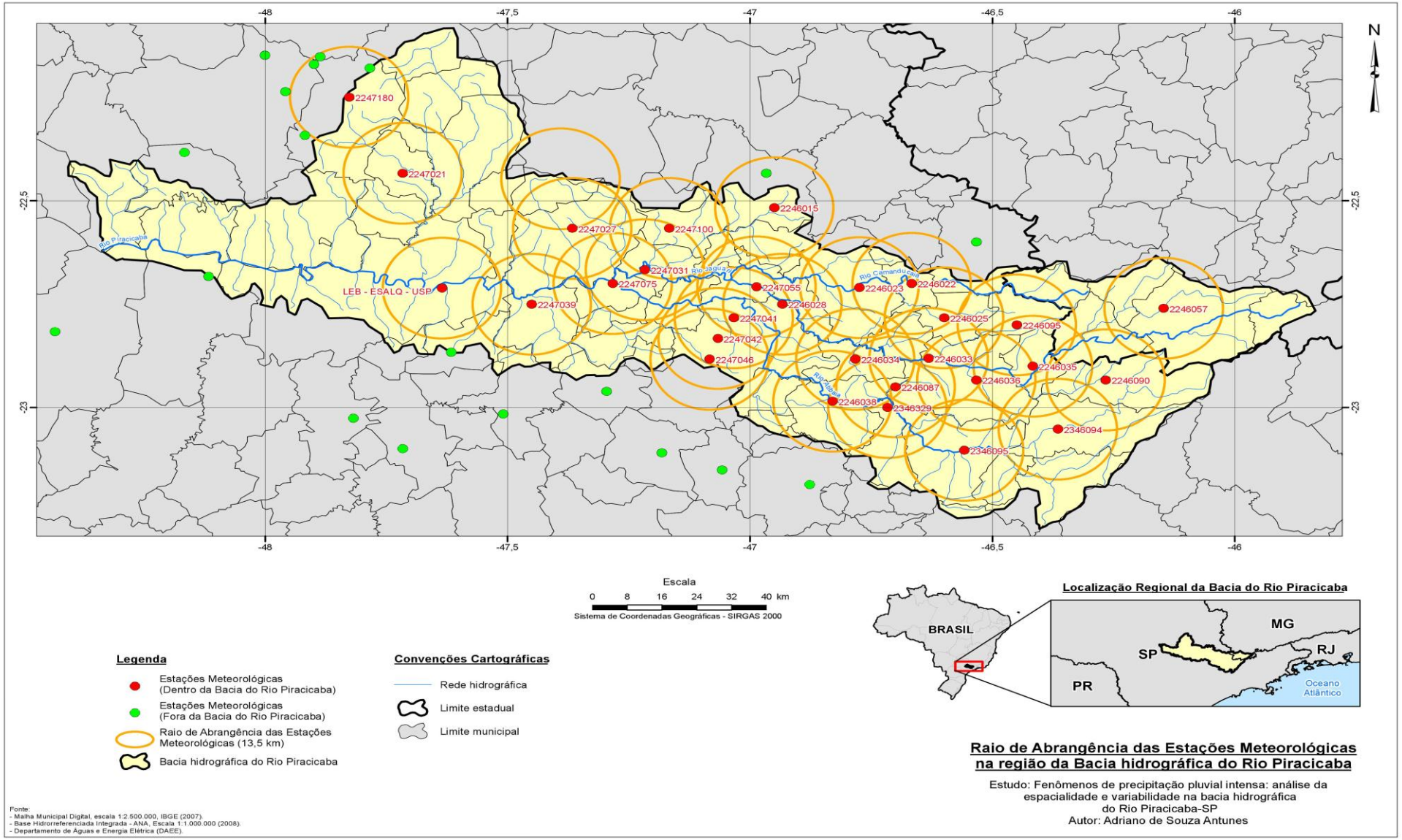


Figura 20: Raio de abrangência dos postos pluviométricos segundo critério estabelecido pela WMO (1994).

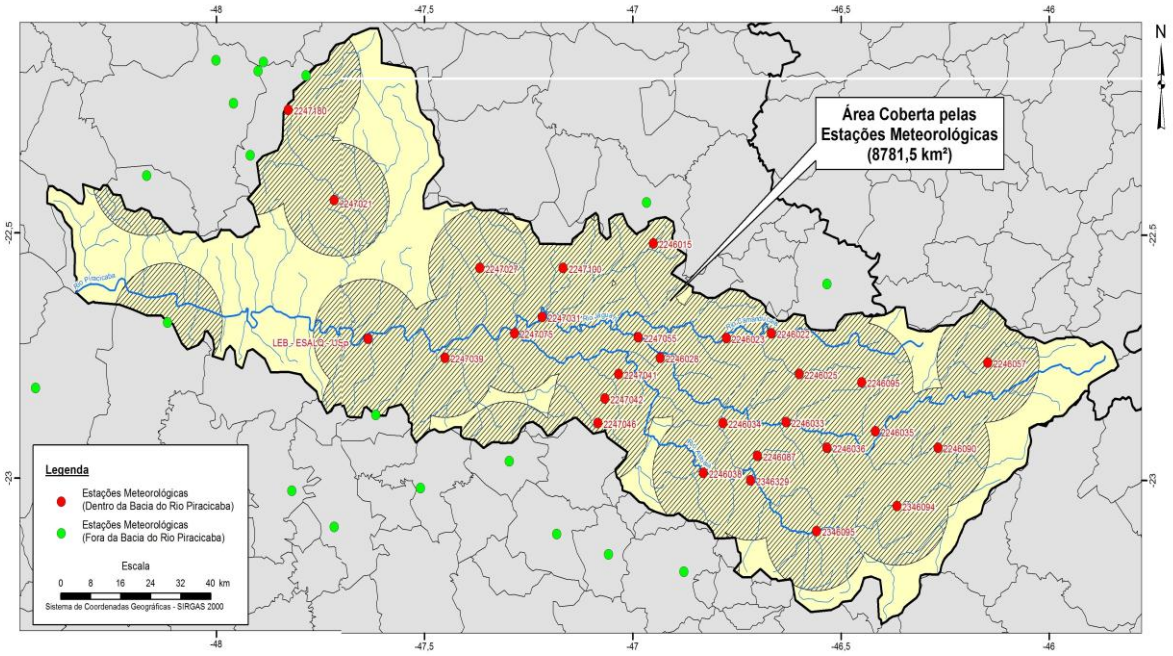


Figura 21: Área da bacia hidrográfica coberta pelas estações meteorológicas.

Em trabalho de campo realizado, foi observada o posto meteorológico da fazenda Areão, de propriedade da ESALQ-USP, conforme mostram as figuras 22, 23 e 24.

Figura 22: Estação meteorológica da Fazenda Areão (ESALQ-USP, Piracicaba)
Foto: Trabalho de campo realizado em Abril/ 2015 pelo autor.

Os pluviometros estavam localizados em campo gramado e espaçado, livre de qualquer barreira, exatamente como recomendado pela WMO (1994, 2008).

Imagem 23 e 24: Pluviometros utilizados na estação meteorológica Fazenda Areão (ESALQ- Piracicaba)
Foto: Trabalho de campo realizado em Abril/ 2015 pelo autor.

Vale ressaltar que nem todos os postos pluviométricos, possuem tal dinâmica, sendo grande parte deles localizados em área urbana, com muros de concreto ou prédios próximos tendo seus dados possivelmente contaminados por esses fatores.

3.3 Preenchimento de Falhas

O banco de dados apresentou alguns problemas durante o período analisado, como por exemplo, registros inconsistentes de precipitação (1300 mm em 24 horas) ou basicamente ausência de registros.

Existem diversos métodos para o preenchimento dessas falhas, sendo os mais citados o método de Thiessen, da média aritmética, e o método das isoietas. Para o preenchimento das falhas utilizou-se o método da média aritmética, representado pela equação abaixo:

$$\overline{P} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i$$

Segundo Bertoni e Tucci (2001), identifica-se o mês faltante calcula-se a média mensal do mesmo mês dos demais anos da série e o resultado será utilizado no preenchimento da lacuna, no qual N representa as estações pluviométricas, com as alturas de chuva medidas em cada estação indicadas por P_i (i = 1, 2, 3, ..., N) e P a precipitação média na bacia.

3.4 Determinação dos eventos de precipitação intensa

Para definir qual fenômeno de precipitação pluvial poderia ser considerado intenso, foi necessário conhecer a dinâmica pluviométrica do local de estudo, assim como a definir um método estatístico que representasse um limiar de precipitação que mostrasse de fato as especificidades do local de estudo. Inicialmente, os dados foram analisados de acordo com seus limiares de ocorrência e logo, percebeu-se que as chuvas atingiam o limiar de 50 mm em 24 horas facilmente, podendo gerar conclusões inconsistentes e assim não corroborar com os objetivos da pesquisa, que se remete aos eventos pluviais intensos. Em contrapartida, percebeu-se que o limiar de 150 mm em 24 horas não poderia ser utilizado visto que a representatividade desses fenômenos é pequena, não sendo suficiente para corroborar com os objetivos da pesquisa. Contudo, o limiar de 100 mm em 24 horas pode ser considerada suficiente para causar grandes transtornos à população tanto nas áreas urbanas, com inundações e engarrafamentos, como nas áreas rurais, com escorregamentos de morros e perda da produção de determinados produtos agrícolas. Além disso, sua representatividade no banco de dados poderia nos fornecer informações precisas acerca dos grandes fenômenos de precipitação na região, sendo, portanto, o conceito adotado no presente trabalho.

Entretanto, para corroborar com a observação dos dados um método estatístico deveria ser empregado e sendo assim a metodologia *Box plot* para anos padrão, aplicada por Galvani

e Luchiari (2004) foi adaptada para a obtenção de limiares de precipitação diária. A técnica propõe uma análise estatística de dados mensais de precipitação de séries consideradas longas (30 anos ou mais), determinando assim os anos com regime pluviométrico normal, seco ou úmido, além daqueles considerados super úmidos e super secos. A partir dessa técnica, foi elaborado o gráfico *Box plot* por meio do software Sigma XL e limiares de precipitação definidos. O *Box plot*, permite dividir a série em blocos, sendo que 25% dos dados estarão entre o valor mínimo e o limiar do primeiro quartil, 25% entre o limiar do primeiro quartil e a mediana, 25% entre a mediana e o limiar do terceiro quartil e os outros 25% dos dados daquele mês acima do limiar do terceiro quartil (mês úmido). Existem ainda aqueles números que podem ser considerados os extremos da série, que é justamente aquele que buscamos nessa pesquisa, conhecidos como *outliers*, representam os 5% dos dados tanto do ponto de vista máximo, como mínimo da série analisada, como mostra a figura 25 .

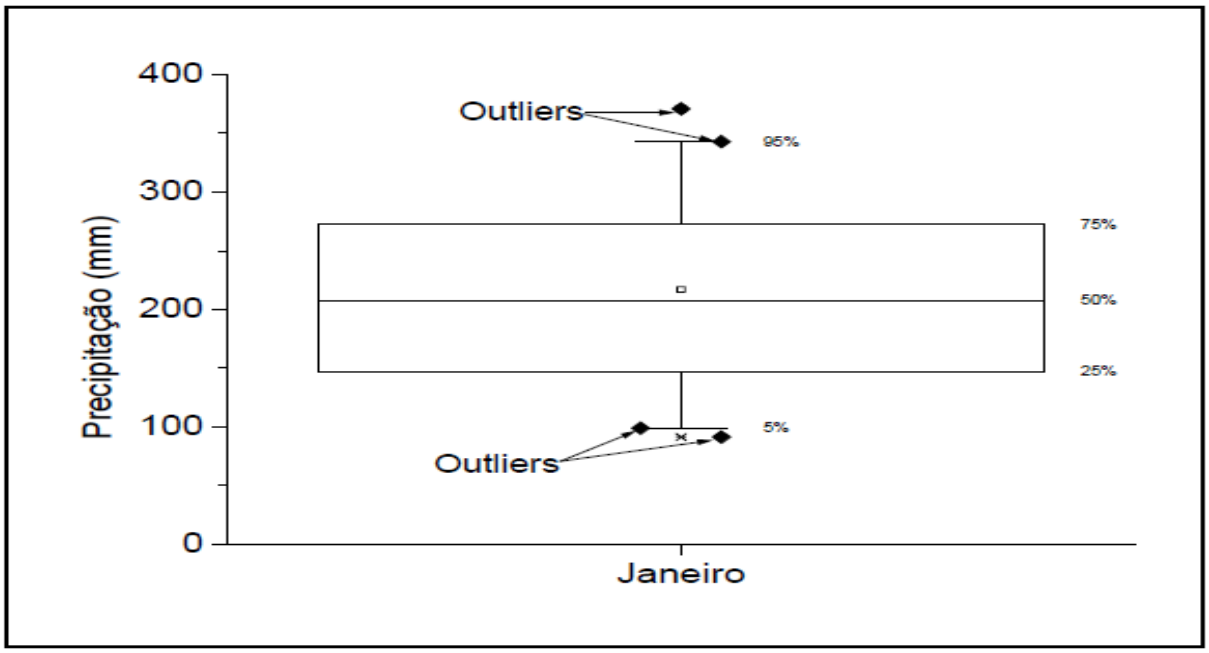


Figura 25. Representação dos *outliers*. Fonte: Galvani e Luchiari, 2004.

Posteriormente, foram utilizados os eventos de precipitação mais significativos de cada mês das estações intrabacia e o limiar de chuvas intensas foi calculado para a área de estudo, como mostra a figura 26.

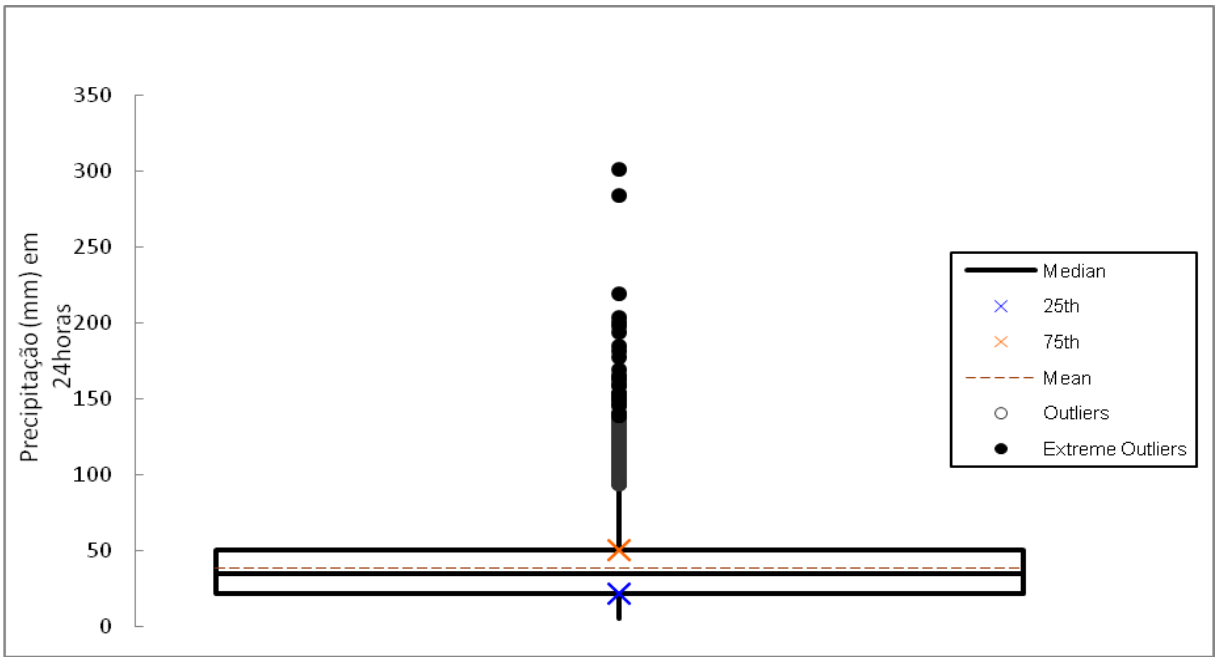


Figura 26: Gráfico *box plot*, elaborado a partir dos dados pluviométricos das estações intrabacia, apresentando a dispersão dos eventos de precipitação em 24 horas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.

A partir do cálculo utilizando o *box plot* , os limiares foram definidos e os limites dos quartis expressados na tabela 7.

Tabela 7: Classificação da precipitação diária.

Precipitação diária (mm)	**Classificação**
5% menores da série (outliers)	Muito fraca
Entre Vmin e 1° quartil	Fraca
Entre 1° quartil e 3°quartil	Normal
Entre 3° quartil e Vmax	Forte
5% maiores da série (outliers)	Muito forte (Intensa)

Fonte: adaptado de Galvani e Luchiari, 2004.

Dessa forma, no presente trabalho será considerado intenso o evento pluvial que estiver na faixa dos 5% maiores da série em 24 horas, ou seja, 94 mm em 24 horas.

3.5 Análise dos dados de precipitação intensa

Após a seleção dos eventos com limiar de 94 mm, esses dados foram selecionados a partir de suas respectivas estações. Dentro do critério adotado, foram selecionados 208 eventos na região.

Entretanto, segundo Madoxx (1980), tempestades podem cobrir áreas de aproximadamente 1000 km^2. Dessa forma, fenômenos ocorridos no mesmo dia ou em dias subsequentes que atingiram duas ou mais estações dentro do raio delimitado foram considerados como eventos únicos, sendo eliminados os dados das estações vizinhas, já que se tratavam de um mesmo evento. A partir desse critério foram contados 128 eventos de precipitação intensa no período estudado.

3.6 Determinação dos anos padrão

Buscando uma possível relação entre os anos com maior incidência de eventos de precipitação intensa e anos considerados chuvosos, foi realizada a metodologia de anos-padrão proposta por Santa'Anna Neto, 1995. Por meio dos dados de precipitação e do cálculo do desvio padrão é possível identificar os anos considerados secos, habituais ou chuvosos.

Onde:

Tabela 8: calculo das diferentes faixas de precipitação

Ano chuvoso	$P > Pm+\sigma$	
Ano tendente a chuvoso	$Pm+\sigma/2$	
Ano habitual	$Pm-\sigma/2<P<Pm+\sigma/2$	
Ano tendente a seco	$Pm-\sigma/2$	
Ano seco	$P < Pm-\sigma$	

Pm - precipitação média

σ - desvio padrão

P - precipitação

Dessa forma, foi calculada a média e o desvio padrão das 29 estações intrabacia. A partir dos cálculos foi possível identificar os anos chuvosos, tendentes a chuvosos, habituais, tendentes a secos e secos. Essa metodologia foi necessária para que se traçasse uma possível relação entre os anos com maior ou menor números de eventos de precipitação intensa e os anos chuvosos ou secos.

3.7 Análise do evento horário de precipitação intensa: critério de seleção

Para a realização do estudo de caso, foi utilizada a Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, pois na bacia hidrográfica analisada, é a única que apresenta os dados horários de precipitação, com registros a cada 15 minutos, tendo início em 1997 até os dias atuais. Foram selecionados os eventos que, dentro do período estudado, representassem um grande volume em um período de tempo inferior a 1.30h.

A partir desse critério, foram selecionados o dia 2 de Fevereiro de 2007, e 04 de Dezembro de 2009. Para compor essa análise foram utilizadas imagens de satélite (GOES 8 e 10), fornecidas pelo CPTEC-INPE e cartas sinópticas selecionadas junto ao Serviço Hidrográfico da Marinha. A análise rítmica foi realizada a partir do método proposto por Monteiro, 1971, com dados de temperatura, precipitação, e umidade com dados também adquiridos por meio da estação ESALQ- Piracicaba e as variáveis pressão atmosférica e direção dos ventos solicitadas junto a estação meteorológica do aeroporto de Viracopos, localizado em Campinas, SP.

As informações sobre as consequências desses eventos foram pesquisadas nos jornais de Piracicaba, utilizando sobretudo o Jornal de Piracicaba.

4. RESULTADOS

4.1 Variabilidade da precipitação média para o período de 1981 a 2010

4.1.1 Análise da precipitação média anual

Conhecer a dinâmica climática de um determinado local se torna cada vez mais importante à medida que os recursos hídricos tem se mostrado mais escassos e ações de planejamento se tornam preponderantes no aproveitamento e configuração do território.

Após a análise dos dados, percebeu-se que médias pluviométricas ficaram entre 1000 mm e 2100 mm anuais, nas quais o maior volume de chuvas ocorreu nas áreas centrais e leste, corroborando com o estudo de Zandonadi e Pascoalino (2012), que estudaram as características climáticas da região no período de 1991 a 2000. O maior volume pluviométrico nessas regiões tem a contribuição do relevo, pois é esta a área mais elevada da bacia hidrográfica devido à presença do Planalto Atlântico.

A região Sudoeste da bacia hidrográfica apresentou menor média pluviométrica, conforme verificado por Menardi, 2000, que investigou a variabilidade de precipitação na mesma área de estudo, buscando regimes e ritmos de acordo com as estações do ano.

O setor oeste da área de estudo, no entanto, as médias pluviométricas podem ser consideradas relativamente homogêneas. Cândido e Nunes (2008) afirmaram que essa dinâmica é intimamente afetada pela presença das Cuestas Basálticas que se situam exatamente no contato entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista, por meio da intensificação do fenômeno orográfico. A figura 27 mostra a dinâmica da área.

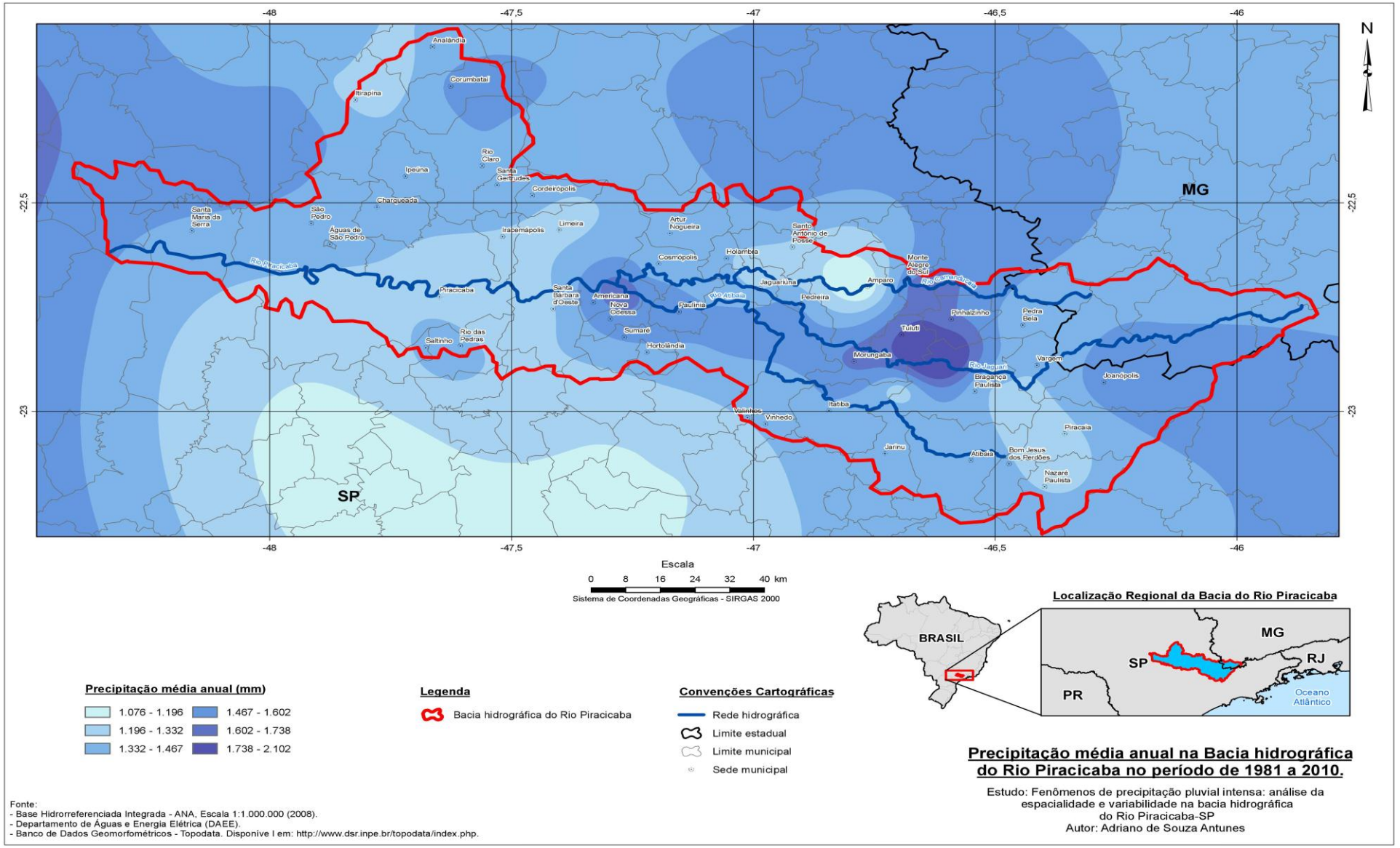


Figura 27: Precipitação média anual no período de 1981 a 2010.

É comum, como afirmaram Pelegatti e Galvani (2010), associar uma maior quantidade de precipitação somente na vertente que se encontra direcionada para o oceano. Entretanto, no caso da bacia do rio Piracicaba, esta associação deve ser complementada devido à influência das ZCAS, que trazem a umidade da Amazônia, em uma corrente sentido noroeste - sudeste, afetando diretamente o clima da região. O fato de fornecerem suporte termodinâmico para a formação de nuvens de chuva, por um período igual ou superior a quatro dias, a ZCAS é considerada um elemento diretamente relacionado ao desencadeamento dos movimentos de massa e inundações em muitas localidades da região Sudeste (MALVESTIO, 2012).

A média de precipitação com a linha de tendência foi evidenciada na figura 28. Assim como no estudo sobre os anos padrão, a heterogeneidade no período pôde ser obervada.

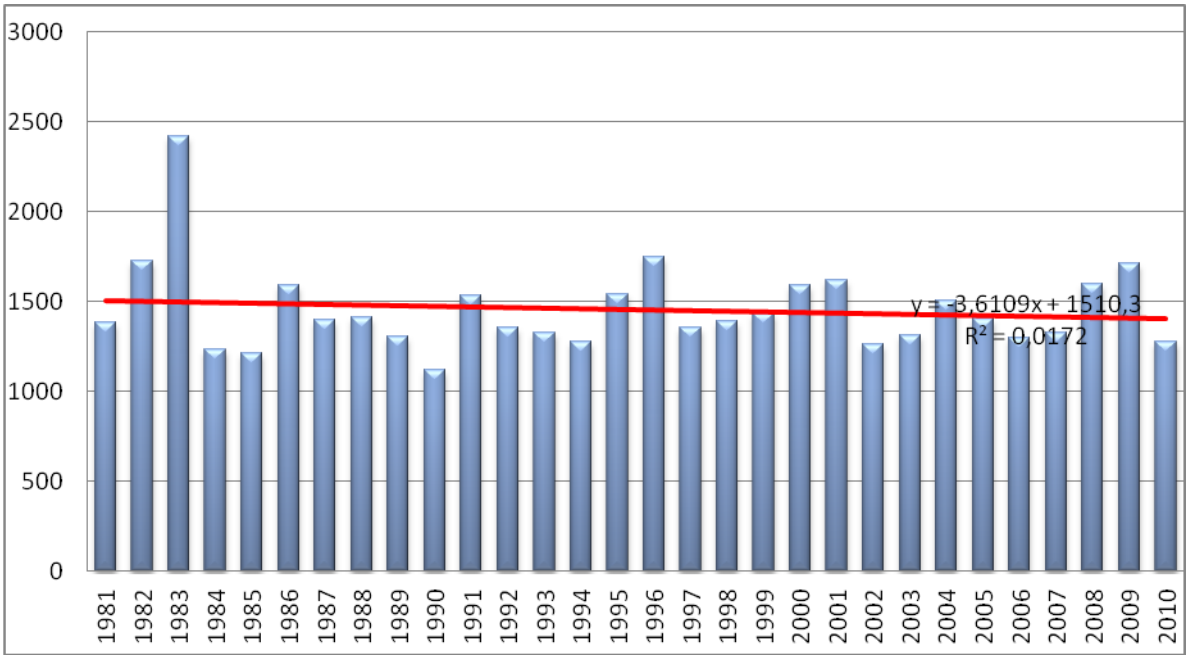


Figura 28: Média anual de precipitação entre os anos de 1981 e 2010.

Embora a gráficamente observarmos uma linha de tendência em queda, se trata de uma série estacionária e ao realizarmos um teste t-student de significancia da inclinação estimada temos que essa inclinição é estatisticamente igual a zero (Wooldridge, 2011). Observamos uma variação baixa das médias anuais de preciptação sendo que dos 30 anos

observados, 25 deles ficam dentro de um inervalo da média de mais ou menos um desvio padrão (1454,3+-242,7), apresentando anomalia somente o ano de 1983.

4.2 Variabilidade e espacialização dos eventos de precipitação intensa

Adotando os critérios estabelecidos para quantificar os eventos de precipitação intensa, foi possível conhecer a dinâmica do fenômeno na bacia hidrográfica no período citado. Após a análise dos dados, percebeu-se que não houve um aumento em relação ao número de eventos no período estudado. A variabilidade se fez presente em toda a série analisada, sendo 1983, 2005 e 2009 os anos mais significativos com 8 eventos.

A figura 29 mostra a variabilidade dos eventos acima de 94 mm durante a série de 30 anos e em seguida a figura 30 sua distribuição sazonal.

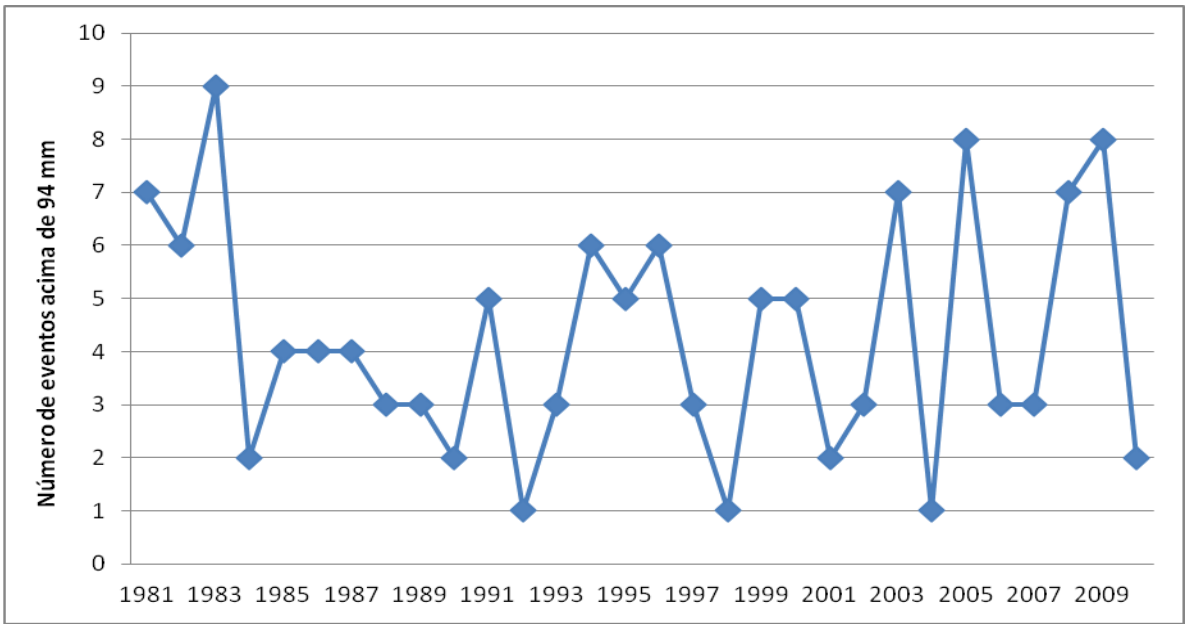


Figura 29: Precipitação com total superior a 94 mm em 24h na bacia do rio Piracicaba, SP na série histórica de 1981 a 2010.

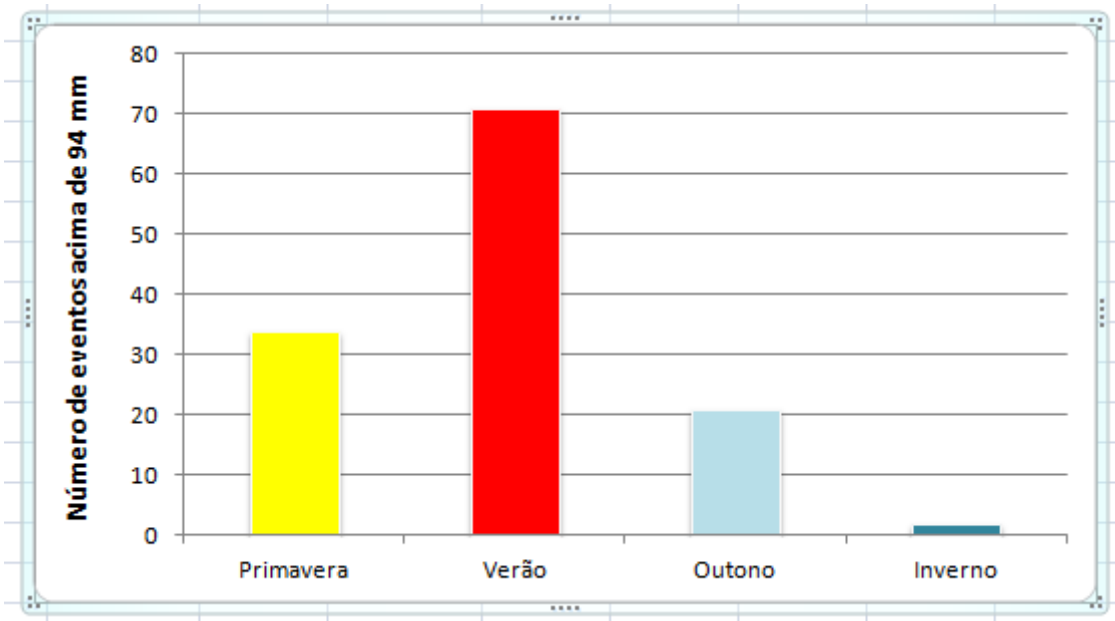


Figura 30: Variação sazonal dos eventos de precipitação com total superior a 94 mm em 24h na bacia do rio Piracicaba, SP na série histórica de 1981 a 2010.

Foi evidente a predominância dos eventos nas estações com temperaturas mais elevadas do ano. Foram registrados 71 eventos no verão, 34 na primavera, 21 no outono e 2 no inverno. Esses dados mostram a influência das ZCAS, dos sistema frontais e, em menor escala, dos CCMs, fomentadores dos eventos intensos de precipitação na região, como afirmaram Junior et al., (2008) e Malvestio (2012). A reduzida quantidade de chuvas intensas no inverno ocorre justamente pelo enfraquecimento desses fenômenos e pelo fortalecimento de outros, como, por exemplo, o anticiclone subtropical. Além disso, a estação seca irá contribuir para a menor formação de zonas de convecção devido aos baixos índices de umidade.

Para tornar completa a compreensão da dinâmica dos eventos de precipitação intensa, a figura 31, mostra a quantidade de eventos de precipitação intensa, de acordo com a metodologia adotada, eliminando os dados das estações próximas com registros de precipitação no mesmo dia e a figura 32 com todos os registros acima de 94 mm sem a eliminação dos mesmos.

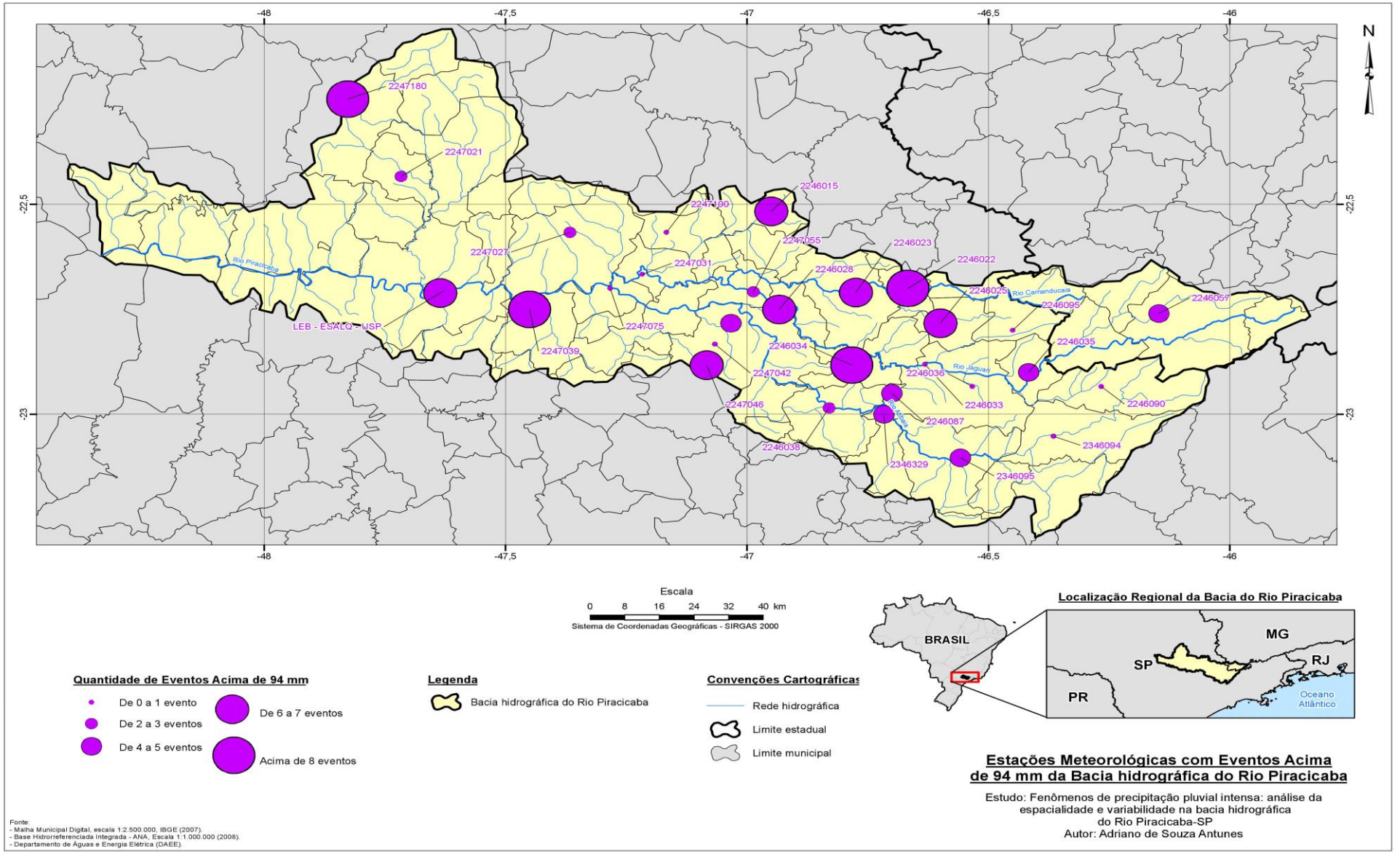


Figura 31: Distribuição dos eventos de precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba.

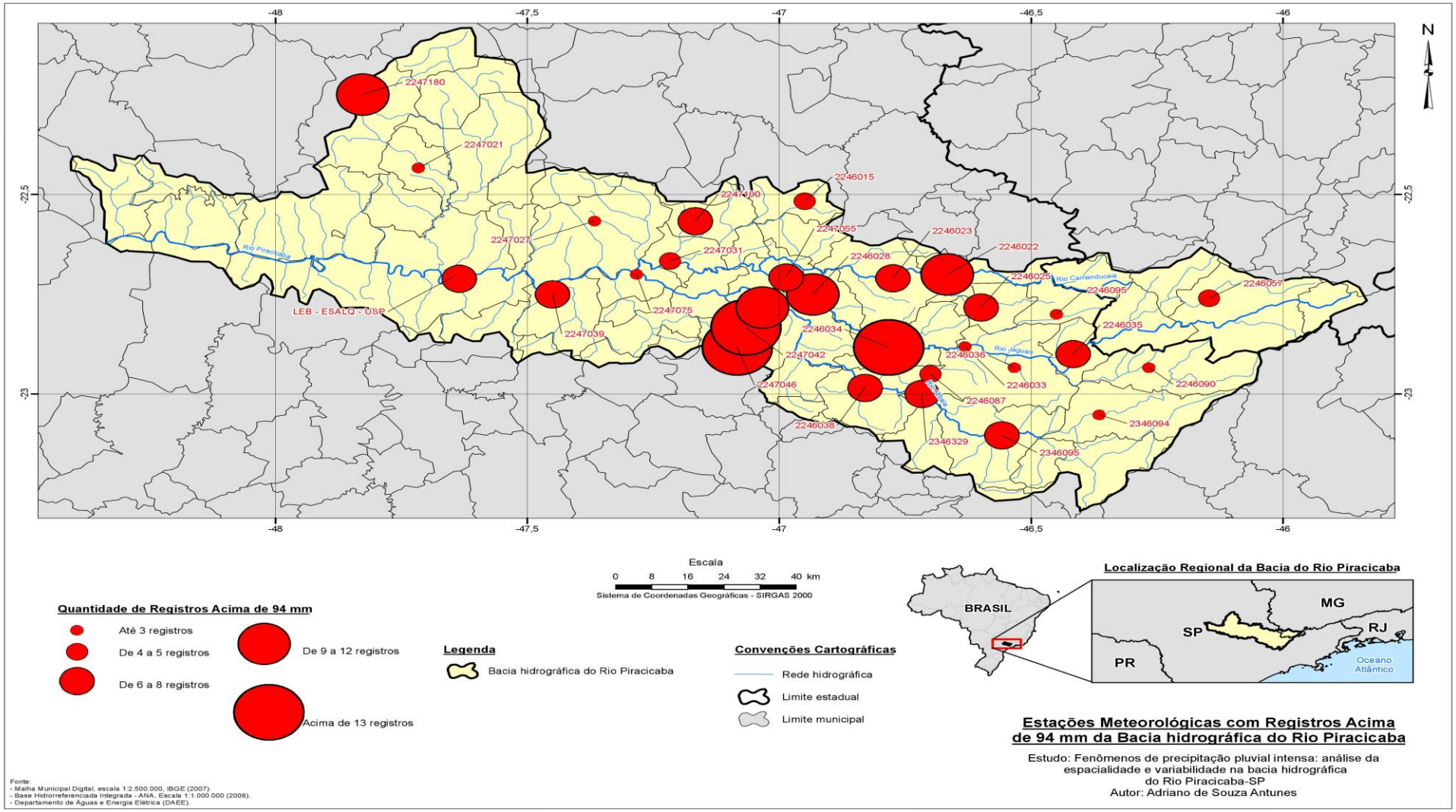


Figura 32: Registros de eventos de precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba.

Espacializando os eventos de precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba, observa-se que predominaram nas regiões centrais e leste, com menores quantidades no oeste. Foram encontradas também a ocorrência de eventos intensos na região noroeste da bacia hidrográfica, também identificada por Menardi 2000, como com médias pluviométricas elevadas em relação aos outros setores da área de estudo.

É possível inferir que essa dinâmica pode ser atribuída mais uma vez pela influência do relevo - por se tratar de uma região de altitude mais elevada que seu entorno, o efeito orográfico se faz presente tanto nas áreas centrais quanto a oeste, onde o mesmo potencializa o efeito dos sistemas frontais, fomentadores de grandes tempestades na região. A figura 33 mostra a relação relevo e eventos de precipitação intensa e dessa forma, podemos perceber que há uma boa relação entre esses elementos, onde há a influência até aproximadamente 1350 metros de altitude.

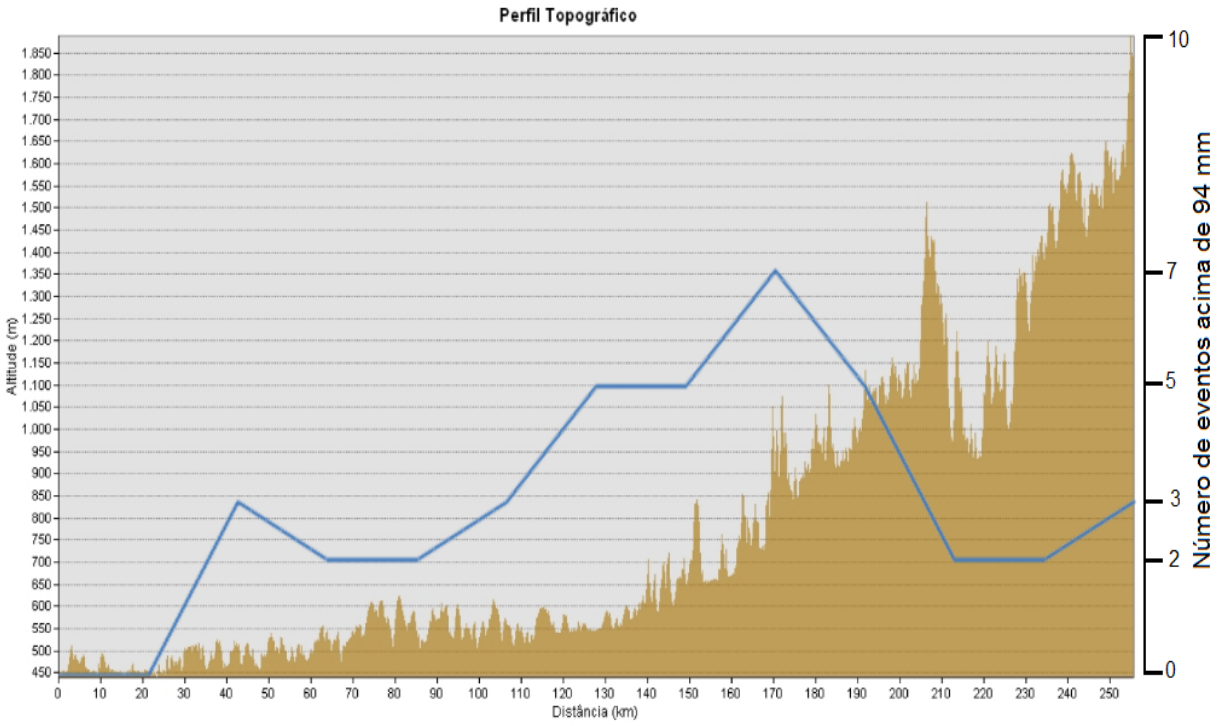


Figura 33: Relação perfil topográfico (sentido leste-oeste) e número de eventos de precipitação intensa.

Com relação a variabilidade, podemos observar, como mostra a figura 34, que também se trata de uma série estacionária segundo o teste t-student, não apresentando, os eventos pluviais intensos, tendência de aumento ou diminuição no período estudado.

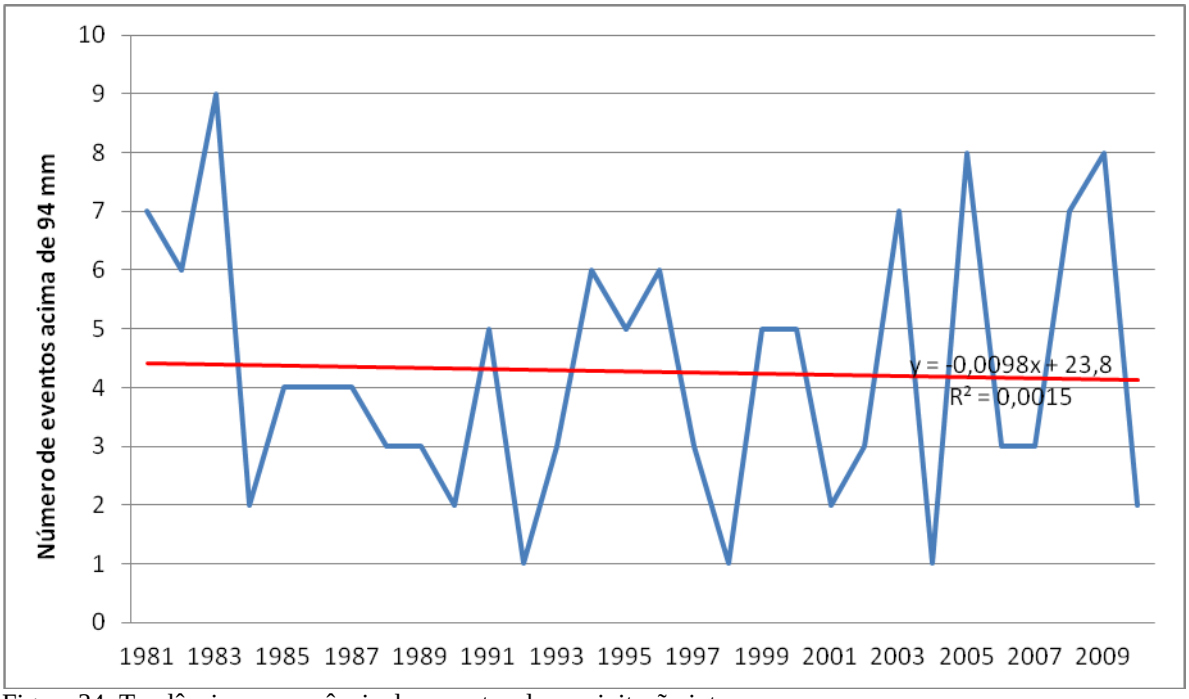


Figura 34: Tendência na ocorrência dos eventos de precipitação intensa.

Castellano e Nunes, 2012, buscaram verificar a influência do homem na variabilidade dos eventos de precipitação intensa durante os dias da semana na região metropolitana de Campinas durante o período de 1970 a 2010. Não foi encontrada relação entre as atividades humanas e a variabilidade desses eventos. Assim como no presente estudo, onde no período estudado a influência antrópica se fez cada vez mais presente, sendo verificada, por exemplo, por meio do incremento populacional (IBGE, 2010), não foi verificado um aumento no número de eventos de precipitação intensa no local de estudo.

4.3 Relação eventos de precipitação intensa e anos padrão

Conforme a metodologia anos padrão adotada buscamos verificar a relação entre os anos considerados chuvosos e a os períodos de maior ocorrência dos anos de precipitação intensa. Entretanto, foi necessário conhecer os limiares para que se fosse necessária a

comparação. Dessa forma, foi calculada a média e o desvio padrão das 29 estações intrabacia e de acordo com metodologia, os valores estabelecidos como mostra a tabela 9.

Tabela 9: Determinação dos anos-padrão (mm)

Ano	Média	Ano	Média
1981	1381.2	2000	1591,6
1982	1726,1	2001	1615,7
1983	2415,9	2002	1264
1984	1231	2003	1309,3
1985	1213,3	2004	1506,8
1986	1586,6	2005	1407,4
1987	1395,2	2006	1294,1
1988	1410,3	2007	1323,4
1989	1301,7	2008	1596,8
1990	1120,8	2009	1710,2
1991	1466,7	2010	1278,3
1992	1351,6		
1993	1324,3		
1994	1273,1	Média	1400,2
1995	1537,2	D.P	246,5
1996	1747,9		
1997	1357,3		
1998	1390,7		
1999	1434,1		

Ano chuvoso	<1646,8
Ano tendente a chuvoso	1523,5-1646,7
Ano habitual	1276,9-1523,4
Ano tendente a seco	1153,5-1276,8
Ano seco	>1153,4

Org. Antunes, 2015

A partir dos dados foi possível identificar os anos chuvosos, 1982, 1983, 1996 e 2009, como tendente a chuvosos os anos de 1986, 1995, 2000, 2001, 2004, e 2008, tendentes a secos 1984, 1985, 1994 e 2002 e como seco o ano de 1990. Finalmente, foram considerados habituais os anos de 1981, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1993, 1997, 1998, 1999, 2003, 2005, 2006, 2007 e 2010.

Posteriormente a relação entre os anos padrão e os eventos de precipitação intensa foi realizado, como mostra a figura 35.

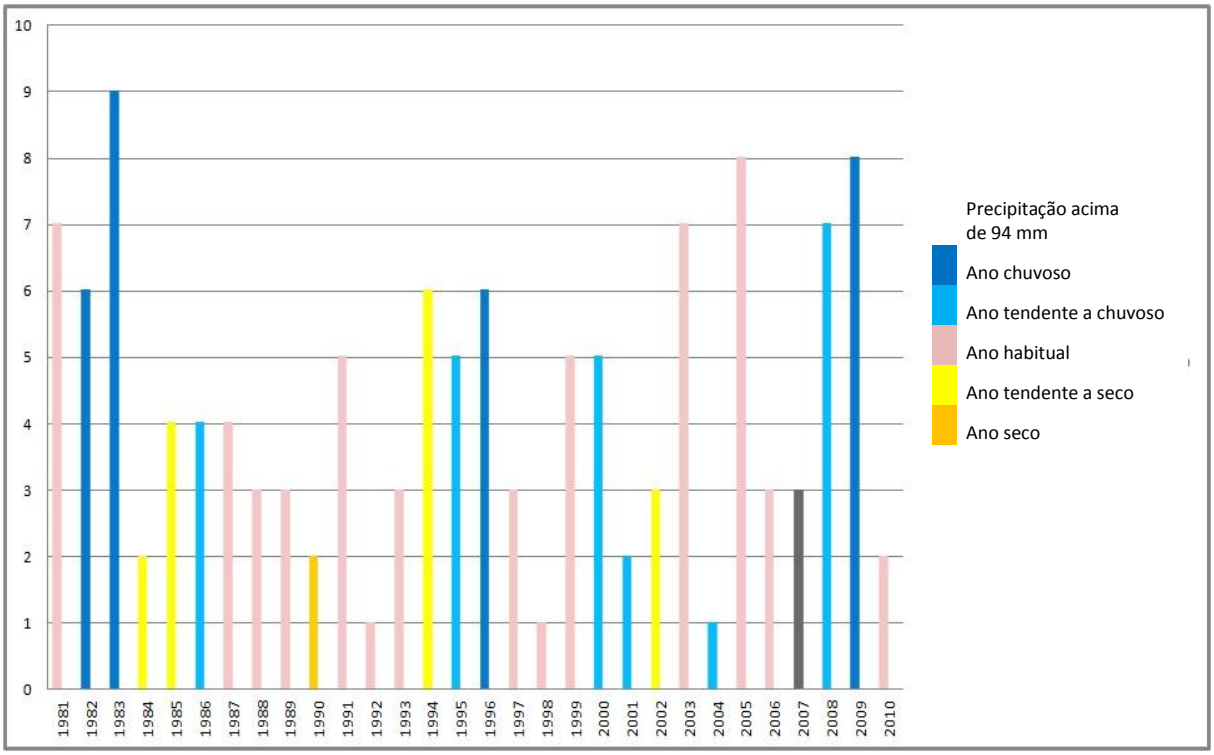


Figura 35: Relação entre eventos de precipitação intensa e anos padrão.

A partir do gráfico, verificamos que existe uma boa relação entre os anos chuvosos e habituais com os eventos intensos de chuva. Em quase todos os anos dentro desses limiares tivemos um grande número de precipitações intensas, como verificado em 1982, 1983, 1996 e 2009. Os anos habituais também se mostraram propensos a receber uma quantidade significativa de chuvas intensas. Entretanto, o total anual de chuvas pode não ser um bom indicador para efeitos de planejamento, já que apenas um evento pode precipitar até 10% do

total do ano. Além disso, essa relação deve ser vista com cautela, já que a variação entre anos habituais, chuvosos ou tendentes a secos, em alguns casos, é de apenas um evento.

4.4 Análise dos eventos horários de precipitação intensa

O crescimento urbano e suas consequências se refletem diariamente em nossas sociedade, sobretudo se esse processo foi acelerado e sem planejamento como é o caso das cidades brasileiras. Segundo Oliveira (1998)

> A análise dos cenários urbanos brasileiros revela a forma desordenada de apropriação, norteado pela ausência de planejamento que considere o disciplinamento do uso e ocupação do solo como prerrogativa básica de seu ordenamento. (OLIVEIRA, 1998, p. 3).

Diversos estudos apontam para as consequências do crescimento urbano acelerado. Monteiro (1976) com o Sistema Clima Urbano, por meio do subsistema hidrometeórico, já destacava a interação entre o clima, o espaço urbano e a ocorrência de impactos associados à precipitação.

Lima e Amorin (2014), que analisaram os impactos dos eventos de precipitação a partir de notícias de jornal, explicitam essa relação e destacam a participação da mídia frente a esses acontecimentos. De acordo com Monteiro (1990),

> O canal dos ‘impactos meteóricos’, ou seja, o dos grandes aguaceiros desorganizadores eventuais da vida urbana, requer uma análise geográfica acurada dos atributos urbanos para ‘responder’ a tais impactos, cujo estudo exige um rumo no passado, pesquisa na memória da cidade (registros, arquivos de jornais, etc.) e a análise espacial dos episódios pluviais (MONTEIRO, 1990, p. 12).

A participação dos diversos meios de comunicação, ultrapassou a barreira do simples ato de relatar, tendo participação importante dentro do processo de construção da sociedade. Esse processo deve observado com cautela, visto que, conforme Nunes (2007), podem ocorrer distorções, erros, inconsistências, prejudicando aqueles que por ventura poderiam sem beneficiar da noticia. Entretanto, a importância dos diversos meios de comunicação é

inegável sob diversos aspectos, visto que a globalização e a necessidade da informação se tornaram preponderantes em nosso cotidiano. Sob esses elementos a análise dos eventos de precipitação se tornam mais dinâmicos e fáceis de compreender.

Logo, foram selecionados dois significativos eventos horários de precipitação. No dia 18 de Janeiro de 2007. Segundo dados da estação da ESALQ, foram registrados 51,5 mm em 24 horas, tendo como pico os horários entre 14:45 e 16:00h , com total registrado de 27,7 mm.

No dia 03 de Dezembro de 2009, segundo dados da estação da mesma estação, foram registrados 51,7 mm em 24 horas, tendo como pico os horários entre 4:45 e 6:30h da tarde, com total registrado de 41,2 mm.

4.4.1 - Gênese do evento (18 de Janeiro de 2007)

O evento ocorrido no dia 18 de Janeiro de 2007, pode ser considerado de elevada magnitude horária. As figuras 36 e 37, do satélite GOES 12, mostram as característica do sistema, assim como a carta sinóptica representada nas figuras 38 e 39 e finalmente a análise rítmica para o referido mês mostrada na figura 42.

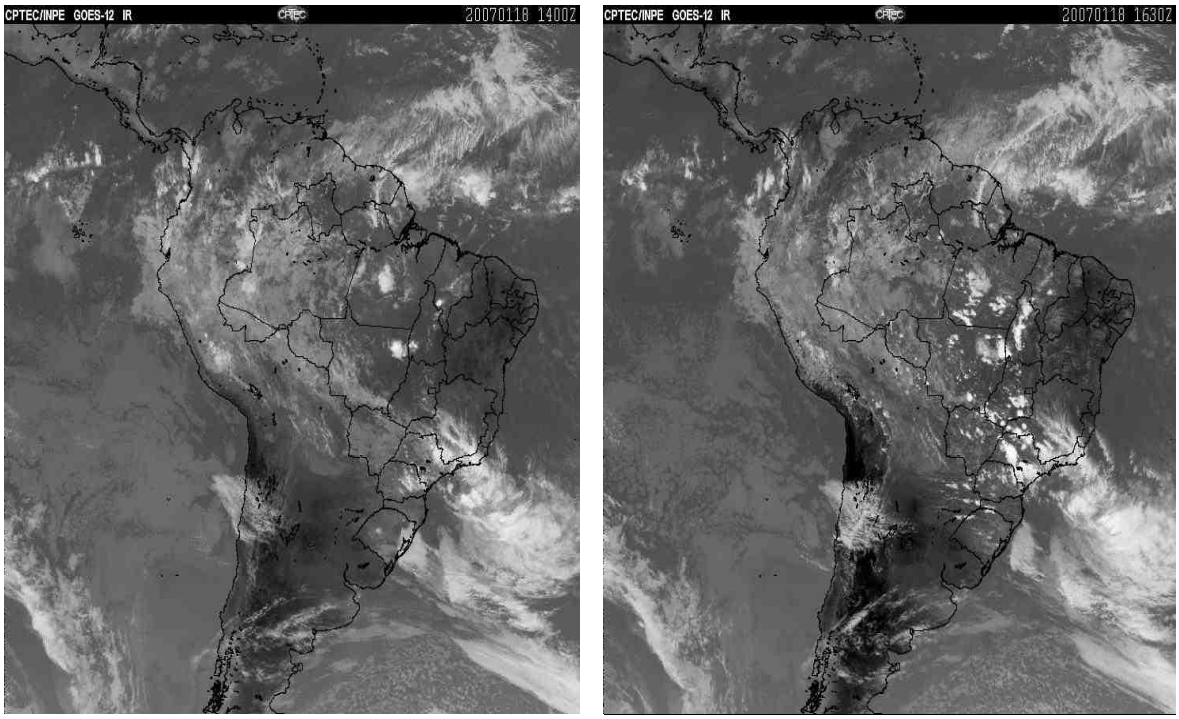


Figura 36 e 37: Imagem do satélite GOES 10 do dia 18 de Janeiro de 2007 para os horários de 14:00 e 16.30Z, respectivamente. (Fonte: CEPTEC-INPE).

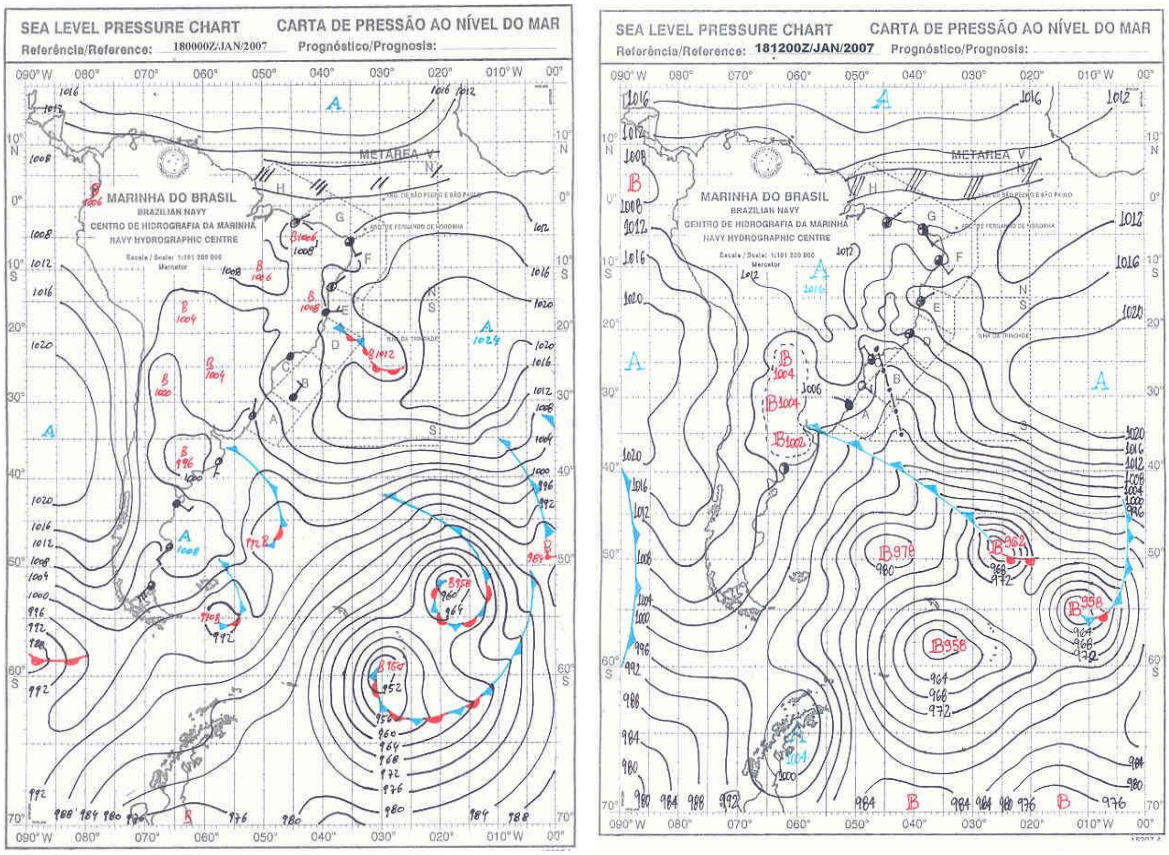


Figura 38 e 39: Cartas sinóticas do dia 18 de Janeiro de 2007 para os horários de 0.00 e 12.00h GMT. (Fonte: Marinha do Brasil)

A partir da análise das imagens, a Zona de Convergência do Atlântico Sul, pode ser percebida. A faixa continua de nebulosidade desde a região Amazônica até o Sudeste brasileiro associada as zonas de baixa pressão atmosférica evidenciam esse sistema. Entretanto, a análise rítmica, figura 40, foi fundamental para determinar o sistema atuante, já que em sua passagem pela região a temperatura mínima se manteve constante, sendo essa configuração uma das principais características desse elemento, corroborando assim com diversos estudos sobre a origem dos eventos intensos na área de estudo, como por exemplo, Seabra et al. (2006) onde os autores verificam a influências das ZCAS na bacias hidrográficas das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, indicando esse fenômeno como responsáveis por parte das chuvas intensas nesses locais.

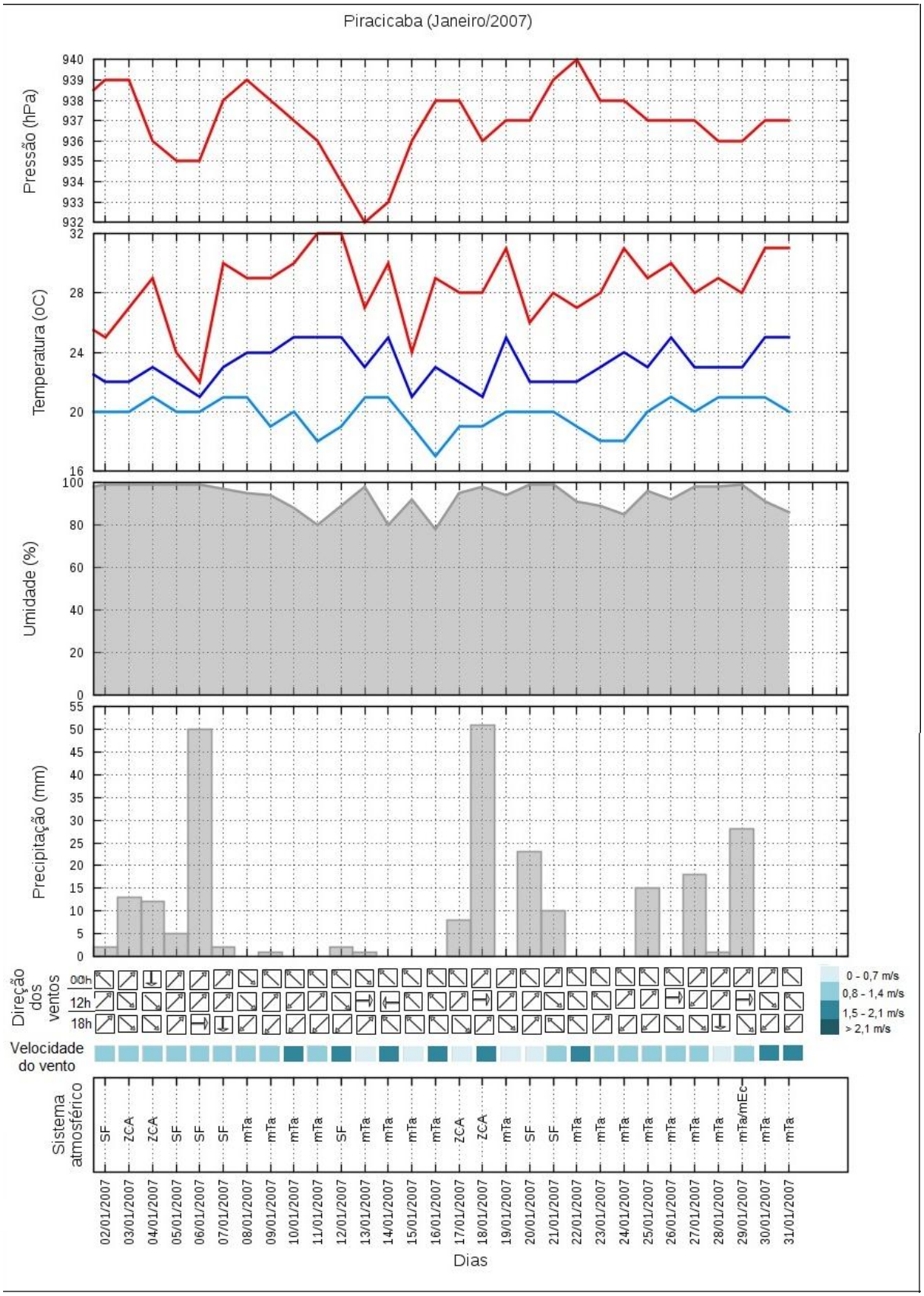


Figura 40: Análise rítmica de Fevereiro de 2007. (Fonte: Adaptado de BORSATO e BORSATO, 2014).

4.2 Consequências do evento do dia 18 de Janeiro de 2007

O evento do dia 18 de Janeiro, ocasionou grandes transtornos ao Município de Piracicaba. O recorte do Jornal de Piracicaba, figuras 41 e 42, relatam o alagamento de ruas, os acidentes no trânsito além de creches e hospitais que foram invadidos pela água durante o curto período de tempo de chuva.

Cidades

Chuva causa transtornos na cidade

Entre 0h e 18h de ontem, choveu em Piracicaba 54,8 milímetros, o que equivale a 30% do total registrado no ano

Mulher reclama de infiltração

Figura 41: Recorte de jornal do dia 19 de Janeiro de 2007. Fonte: Jornal de Piracicaba

Chuva contínua provoca danos

Volume de águas provocou estragos no asfalto, alagamento em ruas e residências e até problemas no Pronto-Socorro Vila Rezende

Região perde 12 posições em ranking

Mais 2 vítimas são retiradas

Figura 42: Recorte de jornal do dia 19 de Janeiro de 2007. Fonte: Jornal de Piracicaba

Segundo o jornal, não houve registro de mortes, entretanto os transtornos na cidade foram evidentes, por meio das noticias citadas.

4.5 O evento de precipitação do dia 03 de Dezembro de 2009

O evento ocorrido no dia 03 de Dezembro de 2009, foi considerado de grandes proporções pois, além do acumulado diário, foi registrado na estação da ESALQ, entre 17:00 e 17:15h. o volume de 25,2 mm. Um valor considerado elevado se considerarmos um período de 15 minutos.

A figura 43 mostra algumas áreas de umidade na região Amazônica e no Centro-Oeste do Brasil, provavelmente por ação da Massa Equatorial Continental, porém a grande massa úmida está localizada sobre o Sudeste, como destaca a figura 44. O sistema atuou em grande parte do local de estudo, apresentando temperatura de até -80°C no interior de algumas nuvens deixando claro a força e a intensidade do fenômeno.

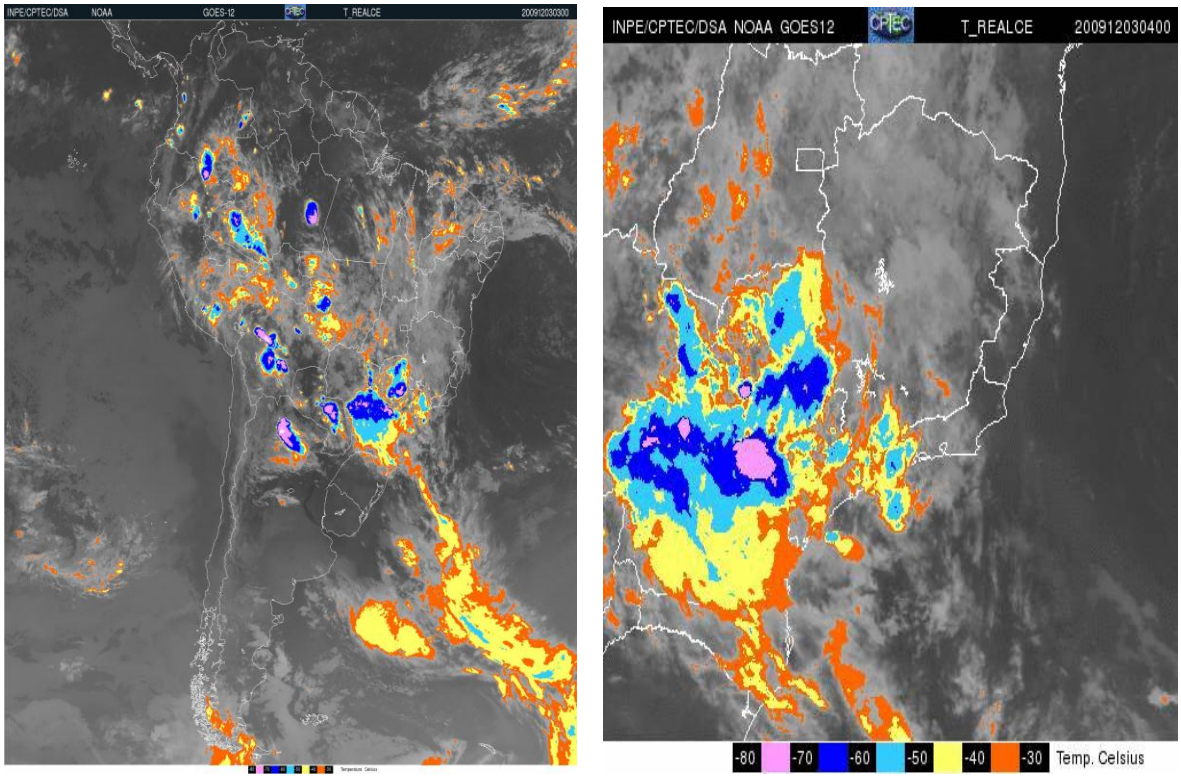


Figura 43 e 44: Imagem realçada do satélite GOES 12 do dia 03 de Dezembro de 2009 para o horário de 4.00 GMT, América do Sul e região Sudeste do Brasil respectivamente (Fonte: CEPTEC-INPE)

As cartas sinóticas mostram a presença de um cavado, evidenciando as linhas de instabilidade e posteriormente o avanço do sistema proveniente da região sul da América do

Sul, por meio das figuras 45 e 46, atuando na região Sudeste do Brasil. Dessa forma, a ação do sistema frontal na região ficou evidente.

Esses sistemas podem ser considerados fomentadores de eventos intensos na região. Geralmente o choque entre sistemas frontais com características distintas vai dar origem a uma perturbação frontal que gera tempo instável, produz muita chuva além de vendavais, granizo e até tornados (RODRIGUES, FRANCO e SUGAHARA, 2004) .

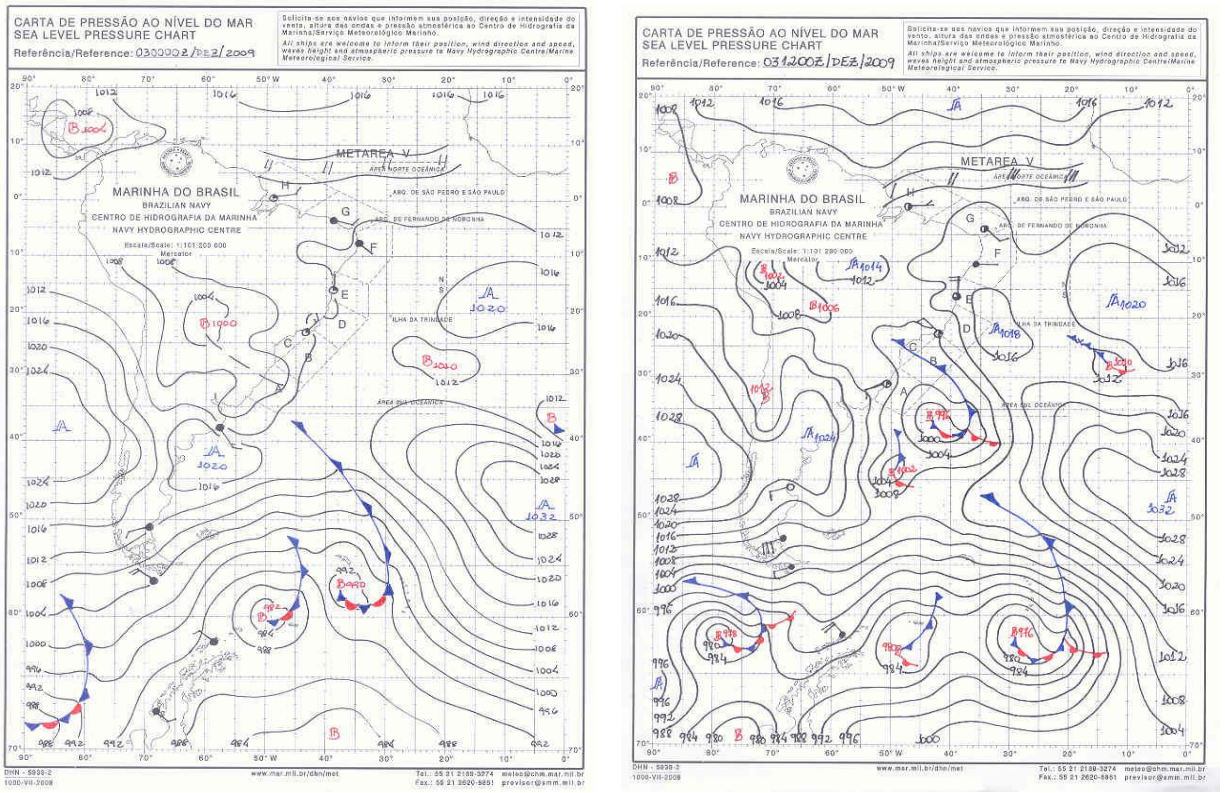


Figura 45 e 46: Cartas sinóticas do dia 03 de Dezembro de 2009 para os horários de 0.00 e 12.00h. GMT. (Fonte: Marinha do Brasil)

Por meio da análise rítmica do mês Dezembro de 2009, figura 47, a ação do sistema frontal se mostra com a queda temperatura a partir do dia 2 de Dezembro. Podemos relacionar ainda a direção dos ventos que ao 12.00h estava sentido Sudoeste-Nordeste proveniente das baixas latitudes e a queda da temperatura, marcando a passagem do evento pela região, corroborando com Satyamurty & Mattos (1989), que identificaram a região como altamente frontogenética, ou seja, favorável à formação e intensificação de frentes.

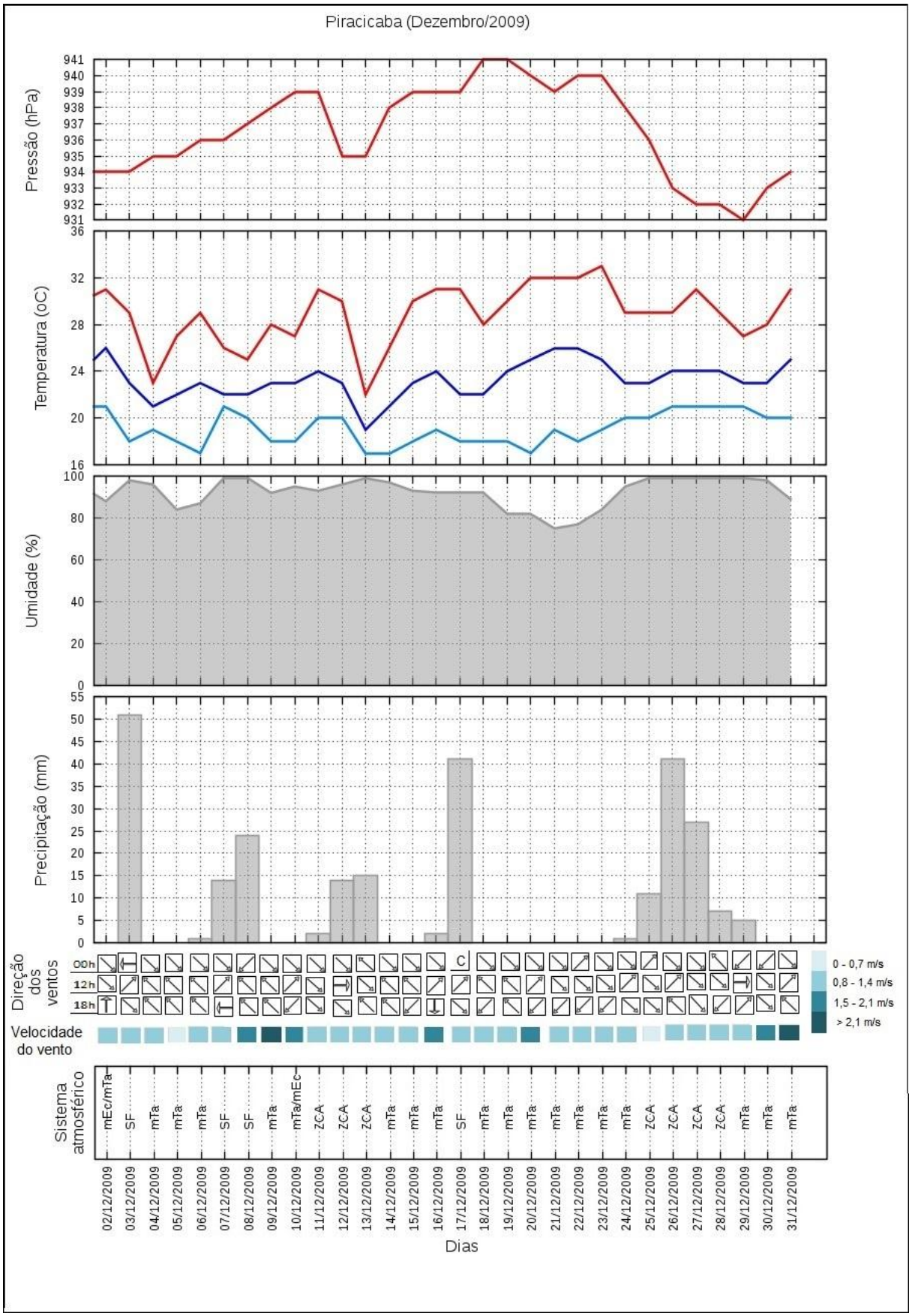


Figura 47: Análise rítmica de Novembro de 2009. (Fonte: Adaptado de BORSATO e BORSATO, 2014).

4.5.1 Consequências do evento do dia 03 de Dezembro

As consequências também foram registradas através dos meios de comunicação do Município. O Jornal de Piracicaba evidenciou os grandes transtornos com a chuva que ocorreu durante um período menor que 2.00h, porém de grande intensidade. As imagens 48, 49, 50, 51 e 52 mostram os registros pós evento.

"Ricardo Ferraz de Arruda Pinto
PIRACICABA

www.jornaldepiracicaba.com.br

JORNAL DE PIRACICABA

R$ 1,50

Ano 109 - Nº 38.136
Editora responsável: Marisa Massiarelli Setto

CONFIABILIDADE E INDEPENDÊNCIA

SEXTA-FEIRA, 4 DE DEZEMBRO DE 2009

Queda de um muro de proteção junto à Escola Municipal Professora Olívia Caprânico, no bairro Mario Dedini; casas invadidas pela chuva nas ruas Rafael Ducatti e rua A, no bairro Algodoal

Segundo o professor Nilson Villa Nova, do Departamento de Sociologia Rural da Esalq, o volume de chuvas em duas horas chegou aos 53 milímetros

Chuva faz estragos em 15 bairros

A chuva intensa que caiu ontem, durante aproximadamente duas horas — das 5h às 7h —, provocou estragos em pelo menos 15 bairros de Piracicaba. A Escola Municipal Professora Olívia Caprânico, no bairro Mario Dedini, teve duas salas de aulas e o berçário destruídos pela queda de um muro de proteção de um terreno, o que obrigou a direção da escola a suspender as aulas da educação infantil ontem. Seis barracos de madeira na favela Cantagalo, na região do bairro São Jorge, correm risco de desabamento. Também foram registrados pela Defesa Civil de Piracicaba e pelo Corpo de Bombeiros cinco pontos de alagamentos, como as avenidas 31 de Março, Primeiro de Agosto e Armando de Salles Oliveira, nas imediações do Terminal Rodoviário Intermunicipal. Cidade - 7

Figura 48: Recorte de jornal do dia 4 de Dezembro de 2009. Fonte: Jornal de Piracicaba

JORNAL DE PIRACICABA

SEXTA-FEIRA, 4 DE DEZEMBRO DE 2009 Cidade - 7

TEMPORAL Queda de muro destruiu duas salas de aulas e berçário de creche no Mario Dedini; casas ficaram alagadas e seis barracos correm o risco de desabar

Chuva provoca estragos em 15 bairros

CRISTINA PERRONI
cristina@jpjornal.com.br

A chuva intensa que caiu ontem, durante aproximadamente duas horas — das 5h às 7h —, provocou estragos em pelo menos 15 bairros de Piracicaba. A Escola Municipal Professora Olívia Caprânico, no bairro Mario Dedini, teve duas salas de aulas e o berçário destruídos pela queda de um muro de proteção de um terreno, o que obrigou a direção da escola a suspender as aulas da educação infantil ontem. Seis barracos de madeira na favela Cantagalo, na região do bairro São Jorge, correm risco de desabamento. **(leia textos nesta página)**

Também foram registrados pela Defesa Civil de Piracicaba e pelo Corpo de Bombeiros cinco pontos de alagamentos, como as avenidas 31 de Março, Primeiro de Agosto e Armando de Salles de Oliveira, nas imediações do TRI (Terminal Rodoviário Intermunicipal). Juntos os dois órgãos receberam aproximadamente 50 chamadas.

Corpo de Bombeiros e Defesa Civil receberam 50 chamadas

O volume de chuva — 53 milímetros, de acordo com o professor Nilson Villa Nova, do Departamento de Sociologia Rural da Esalq (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz — assistou os funcionários e professores da escola municipal do bairro Mario Dedini, freqüentada por 270 crianças de até cinco anos. "Pensei que fosse um raio que tivesse caído, mas era o muro que caiu com a força da água, destruiu portas de ferro e quebrou vidros", afirmou a serviços gerais Célia Cristina de Carvalho, 47. Segundo ela, a queda do muro ocorreu por volta de 6h10.

Na rua Antonio Longatto, no Jardim Bela Vista, no bairro Santa Teresinha, o Verona do mecânico Wagner Benedito Butignol ficou preso em uma vala que a água fez na via que não tem asfalto. "Aguardamos asfalto da rua há muito tempo", disse a balconista Luciana Aparecida Gibin, 37. A Semob (Secretaria Municipal de Obras) informou que há estudos de intervenção no local.

No bairro Algodoal, casas da rua Rafael Ducatti e rua A foram invadidas pela água do córrego que transbordou. "A água subiu 50 centímetros", afirmaram Daiane Fernanda dos Santos, 19, e Jenifer Ramos de Lima, 17. A ajudante de produção Elza Pereira, 38, também teve sua casa invadida pela água e esgoto. "O Semae fez um serviço no bueiro, mas não o fechou direito e a água transbordou", disse. A prefeitura informou que a Defesa Civil atendeu a ocorrência. Sobre o problema do bueiro, o Semae (Serviço Municipal de Água e Esgoto) informou que a situação já está sobre os cuidados da Semob (Secretaria Municipal de Obras).

Os barracos das famílias residentes em área de risco na Vila Rios também foram alagados. De acordo com a prefeitura, para executar os serviços para remover estas famílias para os conjuntos habitacionais até o final do ano, a CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Estado de São Paulo) e a Emdhap (Empresa Municipal de Desenvolvimento Habitacional de Piracicaba) vão habilitar os futuros mutuários entre os próximos dias 9 e 11.

Na rua Maria Isabel Silva Mattos, no Jardim Planalto, pelo menos quatro casas foram alagadas. "A boca-de-lobo em frente de casa não foi suficiente para captar a água e transbordou", informou a atendente Maria dos Santos, 25. No bairro, o CRAS (Centro de Referência de Atenção Social) também foi alagado. Na avenida Jaime Pereira vários veículos tiveram de ser guinchados por causa da chuva.

Córrego transbordou e invadiu ruas do Algodoal; moradores relataram que casas foram atingidas

Figura 49: Recorte de jornal do dia 4 de Dezembro de 2009. Fonte: Jornal de Piracicaba

Barracos estão em área de risco

M. Medeiros/JP

"Os barracos não vão resistir se chover mais", afirmaram as donas-de-casa Noêmia Aparecida Nascimento dos Santos, 34, Maria Simone Fernandes, 35, e Antonia Maria Alves, 31, que moram nos barracos superiores, na rua Maristela, na favela Cantagalo. "As casas estão prontas e a Emdhap não faz a remoção das famílias. Toda vez que chove é a mesma situação", disseram.

Os móveis de alguns moradores foram retirados e levados para a casa da dona-de-casa Flávia Karina da Cruz, 30, que mora em casa de alvenaria do outro lado da rua. "Temos medo que os barracos caiam", observou Eva da Silva, 40, uma das moradoras dos três barracos no alinhamento da calçada. A casa da família de Ivânia Ferraz, 43, também foi invadida pela água.

A Defesa Civil esteve na rua Maristela e duas famílias foram para casas de familiares, evitando risco. Outra família recusou-se a deixar o local, mesmo com risco de desabamento do barraco. Apesar do alerta da Defesa Civil, os moradores afirmaram, ontem à tarde, que passariam a noite nos barracos. "Não tenho para onde ir, vou ter que ficar aqui, com minhas duas filhas, rezando para que não chova", disse Noêmia, que tem uma menina de oito e outra de seis anos. O barraco de Noêmia tem infiltrações de água no solo e está na beira de um barranco de cerca de dois metros de altura.

Também mãe de dois filhos, um de dois e outro de quatro anos, a desempregada Michele Aparecida Ferraz, 21, contou os momentos de desespero que passou ontem de madrugada. "Metade de uma parede do barraco caiu. Meu padrasto pegou um tronco de árvore para segurar o resto", disse.

Rogério Cristiano Viana Andrade mora no primeiro barraco. Se algum dos outros desabar, o dele será soterrado. Ele passaria a noite no barraco, mas mandou a mulher e a filha dormirem em outro local. **(Cristina Perroni e Solange Strózzi)**

Casa da família de Ivânia Ferraz foi invadida pela água

Escola passa por limpeza

Mateus Medeiros/JP

A Secretaria Municipal da Educação fez a transferência de 28 crianças do berçário para outras unidades, sem prejuízo às mães. A secretaria iniciou ontem a limpeza do local e hoje fará a desinfecção da escola. A decisão foi tomada pelo secretário Gabriel Ferrato dos Santos, que esteve no local logo no início da manhã.

As salas não comprometidas terão aulas normalmente. Nelas estudam aproximadamente 200 alunos. O secretário também informou que iria conversar com o prefeito Barjas Negri (PSDB) para recuperação do local o mais rápido possível. Os prejuízos materiais não foram calculados. "O importante é que as salas estavam vazias", afirmou o secretário.

"Por sorte, as crianças ainda não haviam chegado — elas entram às 7h", afirmou a diretora pedagógica da unidade Cássia Franco, 29, informando ao Jornal de Piracicaba que na Escola Municipal Professora Olívia Capranico, no bairro Mario Dedini, alguns professores e funcionários da limpeza já haviam chegado, quando o muro que caiu destruiu portas e móveis do local. Foram atingidas as salas de aulas e berçário das crianças até quatro anos. Ao todo são 66 crianças. O barro e a água destruíram móveis e materiais de uso diários das crianças. "Devido à situação, resolvemos suspender as aulas hoje (ontem)", afirmou Cássia.

As 38 crianças de três e quatro anos vão ocupar sala de aula no prédio onde funciona o ensino fundamental. "O espaço é bom", afirmou a coordenadora pedagógica.

De acordo com Ferrato, a Semob (Secretaria Municipal de Obras) também fará a limpeza da área, retirando o material da construção civil. Em seguida, fará a limpeza da galeria (desentupimento) e, posteriormente, a reconstrução do muro, que era antigo. **(CP)**

Ferrato observava ontem de manhã os estragos na unidade

Figuras 50 e 51: Recorte de jornal do dia 4 de Dezembro de 2009. Fonte: Jornal de Piracicaba

TURISMO *Papai Noel chegou de helicóptero ao parque da Rua do Porto*

Chuva adia passeio por pontos turísticos iluminados

M. Medeiros/JP

Papai Noel, símbolo principal do Natal, chegou, acompanhado da Mamãe Noel, de helicóptero a Piracicaba no sábado, na área de lazer do parque da Rua do Porto, sob os olhos curiosos e cheios de esperança das crianças e adultos. Brincalhão, Papai Noel divertiu as crianças que assistiram ao espetáculo musical da Roadstar Love Cry Banda Show. A chuva chegou no final e não atrapalhou a festa do Papai Noel, mas transferiu para a próxima sexta-feira o passeio de trenzinho para a imprensa conhecer os pontos turísticos iluminados.

"É importante as crianças acreditarem em Papai Noel, pois ele faz contraponto com a violência dos nossos dias", afirmou a dona-de-casa Maria Aparecida Dias Leite, 45, que foi com a família à Rua do Porto. "O projeto é audacioso e é intenção torná-lo tradição em Piracicaba e referência para a região e até o Estad afirmou o secretário muni de Turismo, Omir Lour (Cristina Perroni)

A passarela pênsil é um dos pontos que receberam iluminação especi

Figura 52: Recorte de jornal do dia 4 de Dezembro de 2009. Fonte: Jornal de Piracicaba

4.6- A necessidade da prevenção

O Rio Piracicaba basicamente definiu a história da cidade. A cultura, a política, a economia e todos os setores da sociedade foram marcados pela sua presença. Rodrigues e Longo (2014) destacam toda a importância do rio frente a sociedade piracicabana e suas características ao longo das décadas.

Dessa forma, a população, conforme verificado em trabalho de campo por meio de conversas com moradores, parece não se surpreender mais com as enchentes já que uma das maiores riquezas da cidade é justamente o rio. Sendo assim, projetos de reurbanização parecem distantes já que o município, por décadas, sofre com o extravazamento do rio.

A área de várzea do rio Piracicaba, quase toda impermeabilizada, está ocupada com moradias e o comércio local. Um dos maiores pontos turísticos da cidade de Piracicaba, a rua do Porto, sofre sazonalmente com as enchentes, conforme mostra a imagem 53.

A-6 TERÇA-FEIRA, 23 DE JANEIRO DE 2007

PRECIPITAÇÕES

Com as chuvas, rio Piracicaba ameaça vazar

Até anteontem foram registrados 209 milímetros, sendo que a média é de 202 milímetros

A vazão do rio Piracicaba atingiu o nível mais alto desse início desta estação chuvosa, ficando muito próximo de transbordar no último fim de semana. Conseqüência da elevada concentração de chuva, que foi de 44 milímetros em Piracicaba no sábado e no domingo (a média do mês é de 202 milímetros). As precipitações dos últimos dias contribuíram para que o acumulado do mês ultrapassasse a média histórica de janeiro, o mais chuvoso do ano.

A maior vazão do Piracicaba foi observada no final da tarde de sexta-feira, quando chegou a 476 metros cúbicos por segundo. A Defesa Civil de Piracicaba afirma que a quantidade água necessária para que o rio transborde é de 500 m cúbicos/s. Cada metro cúbico equivale a 1.000 litros de água.

Apesar de as chuvas localizadas terem sido registradas no sábado e no domingo, o nível do Piracicaba baixou nesses dias. Isso porque, a vazão depende da quantidade de precipitações em pontos mais distantes da cidade. O efeito dessas chuvas geralmente são percebidos horas ou até mesmo dias depois da ocorrência. Ontem, a vazão máxima continuou alta, porém mas distante do ponto de transbordamento: 358 m cúbicos/s.

Já no Corumbataí, rio cuja vazão em Piracicaba é influenciada mais intensamente pelas chuvas localizadas, o nível máximo foi constatado na tarde de sábado, quando a vazão chegou a 370 m cúbicos/s.

Três famílias da Vila Rios ainda continuam desalojadas

O secretário-executivo da Defesa Civil de Piracicaba, Carlos Alberto Razzano, afirma que as três famílias removida de casas da Vila Rios, no início do mês, ainda não foram reconduzida às moradias. Haveria outras pessoas em condição de risco no local na Vila Rios, mas essas não teriam concordado em deixar local.

MÉDIA – Segundo as medições da estação meteorológicas da Esalq (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), este é o terceiro mês consecutivo em que as médias históricas de chuva são ultrapassadas. Até ontem, a Esalq registrou 209 milímetros, enquanto a média histórica é de janeiro é de 202 milímetros.

O professor de meteorologia agrícola da Esalq, Nilson Augusto Villa Nova, afirma que a tendência é de chuvas acima da média durante todo este verão. Decorrência do El Niño, fenômeno meteorológico provocado pelo aquecimento das águas do oceano Pacífico.

Marcelo Germano/JP

MUITA ÁGUA
Esportista aproveita alta vazão do rio para treinar na correnteza

Figura 53: Recorte de jornal do dia 23 de Janeiro de 2007. Fonte: Jornal de Piracicaba

Além de famílias desabrigadas, o turismo na região sofre um grande prejuízo, já que esses fenômenos ocorrem em época de férias, momento de maior faturamento para os comerciantes.

Em janeiro de 2011, foi registrada a pior enchente dos últimos 28 anos em Piracicaba. Na ocasião, o nível do rio ficou sete metros acima do normal e dezenas de famílias foram removidas, conforme mostra a imagem 54.

Figura 54: Enchente na Rua do Porto em Janeiro de 2011.
Fonte: fotografia.folha.uol.com.br/galerias/1841-enchente-em-piracicaba#foto-34581

Sob essa égide, ações de prevenção são bem vindas por parte dos moradores e passaram a fazer parte de seu cotidiano.

Pensando nesses eventos a Prefeitura desenvolve diferentes métodos para tentar amenizar os efeitos, um deles é articulação na retirada de moradores e comerciantes da rua do Porto, em momentos de emergência, conforme mostra a figura 55, estabelecendo prioridade de retirada de acordo com maior ou menor risco em relação a área ocupada. (Prefeitura de Piracicaba, 2012)

Figura 55: Placa da defesa civil colocada nas casas da rua do Porto.
(Fonte: trabalho de campo realizado pelo autor Abril - 2015)

Atualmente, a prefeitura elabora meios tecnológicos para tentar amenizar esses efeitos, como por exemplo, o desenvolvimento de um aplicativo que alertaria a população em caso de possibilidade de enchentes. Os efeitos dos eventos intensos horários podem ter um potencial mais elevado se comparado a eventos de longa duração. Portanto, as ações de prevenção dever ser aperfeiçoadas continuamente e o planejamento urbano deve obrigatoriamente levar em consideração a dinâmica desses eventos.

A relação entre os eventos intensos de precipitação e os fenômenos climáticos já conhecidos, como por exemplo o *El Niño*, deve ser aprofundada em próximos estudos, visto que a segurança da população deve ser priorizada sendo possível elaborar novos meios de adaptação ao que tange os anos vindouros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a série histórica de precipitação no período de 1981 a 2010, observou-se que a bacia do rio Piracicaba, possui uma dinâmica climatológica influenciada pelo relevo. Essa influência não fica restrita somente às médias pluviométricas, mas também aos eventos de precipitação intensa.

Nos mapas elaborados para a espacialização da pluviosidade, percebe-se que, em relação às médias anuais, os maiores valores estão na região central e leste da bacia hidrográfica, justamente pela presença de terrenos elevados, onde encontramos o planalto Atlântico e parte da Serra da Mantiqueira, ocasionando o efeito orográfico na pluviosidade. É importante ressaltar que as chuvas orográficas não podem ser consideradas como fenômeno responsável pela gênese, mas um intensificador das precipitações. Há também a influência das massas úmidas vindas do oceano a leste e a oeste a chegada principalmente da ZCAS, proveniente da Amazônia, grande fomentadora das chuvas no período do verão no sudeste brasileiro.

Com relação aos eventos intensos, ficou evidente a variabilidade ao longo dos 30 anos e a inexistência de uma tendência de aumento nas ultimas décadas. Os elementos naturais parecem ser decisivos na configuração dos mesmos, pois o relevo irá atuar mais uma vez, mesmo que de forma diferenciada. São raros os fenômenos a oeste da bacia hidrográfica, ficando os mesmos restritos as áreas centrais e leste. Entretanto na região noroeste, drenada pela bacia do rio Corumbataí, há registros de fenômenos intensos de chuva.

Após a análise dos anos padrão, diferenciando os anos em chuvosos, tendentes a chuvosos, habituais, tendentes a secos e secos, percebeu-se que existe uma boa correlação entre os anos chuvosos e os eventos intensos de precipitação já que nesses anos houve uma maior incidência desses fenômenos. Entretanto utilizar os dados de chuvas totais e relacionar

com eventos de chuvas intensas pode não ser muito seguro já que em um único evento pode ocorrer o acumulado de precipitação de um mês todo.

Os eventos se concentraram predominantemente no verão e na primavera, justamente no período que as temperaturas estão mais elevadas. A menor incidência de ZCAS e sistemas frontais no inverno explicaria a predominância dos eventos nessas estações.

Porém, os fenômenos horários de precipitação, podem ser considerados como grandes fomentadores de desastres naturais, já que um grande volume de chuva atinge um determinado locais num espaço muito curto de tempo, saturando os solos e colapsando o sistema de drenagem das grandes cidades. Dessa forma, foram analisados dois grandes eventos de magnitude horária no Município de Piracicaba. Através de cartas sinópticas, dados de precipitação, imagens de satélites e análise rítmica mais uma vez a ação dos sistemas frontais e ZCAS se fez presente. As consequências em superfície foram noticiadas pelos diversos meios de comunicação, entre eles o Jornal de Piracicaba, que relatou o caos na cidade por meio de inundações e alagamentos.

As ações de planejamento urbano devem ser cada vez mais aprimoradas a medida que novos estudos são executados. A região de Piracicaba, que sofre com esse problema ano após ano com o extravazamento do rio Piracicaba, tem desenvolvido mecanismos para que os danos, tanto materiais como humanos, sejam cada vez menores. Exemplo disso é o plano de remoção das famílias da Rua do Porto, região turística que além de ser importante para a economia local, abriga moradores que se sustentam com seus estabelecimentos às margens do rio. Sendo assim, o conhecimento da dinâmica pluviométrica se torna cada vez mais importante. A análise social, a ocupação e o adensamento populacional, são elementos que devem ser abordados em trabalhos futuros, já que com o aumento populacional e as mudanças nas grandes cidades as consequências em superfície estarão sempre presentes.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Brasília, 2007. 112p.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/ Acessado em 25 de Setembro de 2013.

ALCÁNTARA-AYALA, I**. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries.** Geomorphology, Amsterdam, v.47, p.107-124, 2002.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185 p. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (INPE) São José dos Campos. 2005.

BACK, A.; OLIVEIRA. J. L. R.; HENN, A.; **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.4, p.391–398, 2012.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973. 351p.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de ciências da terra, São Paulo, n.13, 1972. 27p.

BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes: observations and theory of weather systems**. New York: Oxford University Press, 594 p., 1993.

BORDO, A. P.; **Los ejes de desarrollo y la estructuración urbano-industrial del estado de Sao Paulo, Brasil**. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, 2005.

BORSATO, V. A.; BORSATO, F. H.; **A elaboração dos gráficos da Análise Rítmica por meio do software livre gnuplot**. In: XI SBCGA (Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica Aplicada e - V SPEC - Simpósio Paranaense de Climatologia., 2014, Curitiba. Anais - Contribuições Científicas, 2014.

CÂNDIDO, D. H.; H. **Influência da orografia na precipitação da área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira.**. Geousp (USP), v. 24, p. 08-27, 2009.

CARAM, R. O.; **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba** / ESALQ- Piracicaba, 2010. 140 p. (Tese de Doutorado)

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, E. V. Frentes Frias sobre o Brasil, IN: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, Cap. 9, p. 135-146, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A.L.H. **Estudo sobre a sazonalidade da precipitação na bacia do Piracicaba (SP)**. USP/FFLCH, São Paulo, 1991. (Dissertação de Mestrado).

CNRH. **Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003. Anexo I. Conselho Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

CONTI, J. B. **Epistemologia, Métodos e Técnicas em Geografia/Climatologia** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7., 1997, Curitiba. **Anais**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 1997. p. 20-23.

CORREA, M. G. G. **Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DOSWELL III, C. A.; BROOKS, H. E.; MADDOX, R. A**. Flash flood forecasting: an ingredients - based methodology.** Weather and Forecasting, V. 11, 1996.

DUNNE, T., Leopold, L.B. **Water in environmental planning**. New York. W. H. Freeman and Company. 1978.

GALLO, Z.; **O processo de industrialização e urbanização na Bacia do Rio Piracicaba (1970/2000)**. Revista de Ciência e Tecnologia, Piracicaba, v.8, n.17, p.9-17, jun.2001.

GALVANI E. , LUCHIARI A. **Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido**. Aracajú VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2004, p.20-29.

GALVANI, E. ; PEREIRA, A. R. ; KLOSOWSKI, E. S. **Relações entre o Índice de Oscilação Sul (IOS) e o total mensal de chuva em Maringá-PR**. In: Simpósio Internacional Processos Hidrológicos e Geoquímicos em Grandes Bacias Fluviais, 1, 1999, Manaus. CD ROM. Manuas : Agência Nacional de Energia Elétrica., 1999.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 1-19. 2012.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECQ, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulica**s. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008 [S.I].

KIYUNA, I. El Niño 2002-03. **A Anomalia Climática** . IEA – USP, 2002. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=122. Acesso em 27 de Novembro de 2012.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.;BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F; RUDORFF, F.M. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Florianópolis, Ed. Organic Trading, 2006.

KONRAD II, C. E. **Synoptic-scale features associated with warm season heavy rainfall over the interior southern United States**. Weather and Forecasting, v. 12, p. 557-571, 1997.

KOUSKY, V. E. **Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector**. Revista brasileira de Meteorologia., 3, 217-231. 1988.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. **Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain**. Journal of Animal Ecology, v. 64, n.3, 670-392, 1995.

LIMA, A.P.; AMORIM, M.C.C.T.; **Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal** - Revista Brasileira de Climatologia, Ano 10 – Vol. 15 – Versão Eletrônica. Jul/Dez 2014.

LIMA, K. C.; **Episódios de precipitação intensa no sudeste do Brasil e a influência das anomalias de temperatura da superfície do mar e da topografia** – São José dos Campos: INPE, 2010. xxvi+ 201 p. (Tese de Doutorado)

LIMBERGER, L. **Abordagem sistêmica e complexidade na geografia**. p.95-109. Geografia. Londrina, v.15, n.2, 2006.

MACEDO C. J.; COLTRI P.R.; SOARES S. C.; **Características da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e suas possíveis influências na Agricultura.** CPTEC-INPE, 2008. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8995.

MADDOX, R. A., 1980: **Mesoscale Convective Complexes**. Bull. Am. Meteorol. Soc., 61, 1374-1387.

MALVESTIO, L. M.; NERY, J.T.; **A importância da Amazônia para o Regime Pluviométrico da Região Sudeste do Brasil**., 11/2012, Revista Geonorte,Vol. 1, pp.786-795, Manaus, AM, Brasil, 2012.

MARCELINO, E. V.; **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. INPE, Santa Maria, 2007.

MARQUES, A. P. S; JUNIOR, J. M.; AMORIM, A.; FLORES, E. F.; **Aplicação do interpolador Krigagem Ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 64/2, p. 175-186, 2012.

MENARDI, JR. , A.; **Regime e ritmo das chuvas na Bacia do Rio Piracicaba: variações e impactos**. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000. (Tese, Doutorado)

MONTEIRO, C. A. F; **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo.** USP/IG, São Paulo, 1973.

MONTEIRO, C. A. F; **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG-USP série teses e monografias, n 28, 1976.

MONTEIRO, C. A. F; **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP – Instituto de Geografia, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. **A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano – estratégias na abordagem geográfica**. Geosul, Florianópolis, nº 9, 1990.

MONTEIRO, C. A. de F; **Geossistema*:* a história de uma procura**. São Paulo. Contexto, 2001.

MONTEIRO, M. A; FURTADO, S. **O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica**. Geosul, v. 10, n. 19/20, p.117-133, 1995.

MORIN, E. **O Método I: a natureza da natureza.** 2ª ed. Tradução: M. G. de Bragança. Portugal, Europa – América, 1977.

NEGRI, B.; **Urbanização e Demanda de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Piracicaba, no Estado de São Paulo**. In: Semana de Debates sobre Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Consórcio Piracicaba-Capivari. Piracicaba: DAEE/Fundap, 1992. p.65-77.

NUNES, L. H.; **O papel da mídia na difusão da informação climática: o El Niño de 1997-98**. Geografia. Rio Claro: AGETEO, v.32 n. 1, jan/abr, 2007.

OLIVEIRA, P. T.; **Statistical analysis of the extreme rainfall events in northeastern Brazil. 2014**. 114 f. Tese (Doutorado em Clima e oceano; Clima e ambiente; Análise e simulação numérica de eventos extremos; Modelagem do sis) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

OLIVEIRA, R. C.; **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em área urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso: bacia do córrego do Gregório** – São Carlos (SP). Dissertação (mestrado) EESC-USP, São Carlos, 1998.

OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; WILLIAMS, M. **Effect of land use in the water chemistry and macroinvertebrate in two streams of the Piracicaba river basin (Southeast Brazil)**. Freshwater Biology, v.44, p.327-337, 2000.

PELEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. **Avaliação da precipitação na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidades e duração**. GEOUSP - Espaço e Tempo. São Paulo, n. 27, p. 147-158, 2010.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas - Guaíba: Agropecuária**, 478 p. 2002.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados. [online]. 2008, vol.22, n.63. pp. 43-60. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004.

PROCHNOW, M. C. R. **Análise Ambiental da sub-Bacia do Rio Piracicaba: Subsídios ao seu Planejamento e Manejo.** UNESP, Rio Claro, 1990. (Tese de Doutorado)

PROJETO PIRACENA. Disponível em: http://www.cena.usp.br/piracena/cartilha.pdf Acessado em 05/06/2013.

RAO, V.B.; HADA, K. **Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. Theoretical and Applied Climatology**, 42, p.81-91, 1990.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas de hidrografia**. In: VENTURI, L. A. B. Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Sarandi, 2011.

RODRIGUES, M. L. G., Franco, D. & Sugahara, S., **Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Geofísica 22(2). 2004. p.135-151.

RODRIGUES, N.S.; LONGO, L.; **Piracicaba, seu rio, seus peixes**. Ed. ABCD Cultural. Piracicaba -SP, 2014.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo**. 1995. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTOS, M. J. Z. **A importância da variação do regime pluviométrico para a produção canavieira na região de Piracicaba (SP)**. USP/IG, São Paulo, 1979 (Série Teses e Monografias, 35).

SÃO PAULO. Secretaria de recursos hídricos, saneamento e obras do Governo do Estado de São Paulo. Grupo ETEP. (1997), **Levantamento e sistematização de dados sobre áreas de risco, áreas degradadas, áreas sujeitas a erosão e informações específicas sobre resíduos sólidos domésticos e sobre atividades agrícolas desenvolvidas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Contract number 2000396. Final Report − Tomo II. 1996.

SÃO PAULO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo**. São Paulo, DAEE, 1990. 140p. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/perh/perh90/Perh9000Sumario.htm Acessado em 15/10/2013.

SATYAMURTY P.; MATTOS L.F.;**Climatological Lower Tropospheric Frontogeneis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence**. Monthly Weather Review, 1989, 117: p.1355-1364.

SCHENEIDER, H.; CHARLEI A. SILVA. **O uso do modelo box plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de dourados, Mato Grosso do Sul**. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 27 (2014), p. 131-146.

SEABRA, M.S,; MENEZES,W. F.; ROTUNNO FILHO, O. C.; **Influência da ZCAS em bacias hidrográficas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil**. (2006). Disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/14-8e271042d891bd60fe9d812499f36544.pdf

SEVERO, D. L.; **Estudo de chuvas intensas no estado de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994. INPE-5682-TDI/568.

SETZER, J. A distribuição normal das chuvas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia**. n 1, 1946.

SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. **Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim ES**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. Anais..., Florianópolis: INPE, 2007. p. 3141-3146.

SILVA DIAS, M. A. F. **Sistemas convectivos de mesoescala sobre o sul do Brasil. Climanálise** (Edição Comemorativa de 10 anos), 1996. p. 173-182.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico, 2009. p.11 – 23.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Diretoria Técnica. Rio de Janeiro, p. 97, 1977. Original publicado em 1965, na França.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C. E.M. **Regionalização de vazões**. Editora da Universidade. UFRGS. 1° edição. Porto Alegre, 2002.

VELASCO, I., J. M. FRITSCH, 1987**: Mesoscale convective complexes in the Americas**. Journal of Geophysical Research, 92, pp. 9591-9613.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. **Abordagem Sistêmica e Geografia**. Geografia. Rio Claro: v. 28, n. 3, p. 345-362, Set./Dez., 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. 26-31 January 1992. Dublin, Ireland.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION**. Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, forecasting and other Applications**. 5 ed. n 168, Geneva: 1994, p259.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 7.ed., n.8, Genebra, Suíça. 2008.

WOLLMANN, C. A. **Zoneamento agroclimático para a produção de roseiras (Rosaceae spp.) no Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução a Econometria: uma abordagem moderna - tradução da 4a edição norte-americana**. Cengage Learning, 2011.

ZANDONADI, L. PASCOALINO, A. **Distribuição temporo-espacial das chuvas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ).** Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4, p.830 – 843, 2012.

ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L.; ABREU, N. J. A. **Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, CE**. GEOUSP -Espaço e Tempo. São Paulo, n. 25, p. 53 - 68, 2009.

ZANELLA, M. E. **Eventos pluvimétricos intensos e impactos gerados na cidade de Curitiba/PR - bairro Cajuru: um destaque para as inundações urbanas**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, vol. 5, núm. 9, 2006, pp. 61-69. Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Brasil, 2006.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of drainage basins**. Amsterdam: Elsevier, 1985

ZHU, Y.; THOT, Z. **Extreme weather events and their probabilistic prediction by the NCEP ensembly forecast system**. In: Preprints for the symposium on the precipitacion Extrems: Prediction,impacts and responses, 2001, Albuquerque. Proceedings...Boston: AMS, 2001. Disponível em: http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/ens/target/ens/albapr/albapr.html

Sítios:

http://www.ibge.gov.br. Acessado em 10 de janeiro de 2012

http://www.cena.usp.br/piracena/ Acessado em 18 de Agosto de 2012

http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/dublin.htm. Acessado em 20 de Setembro de 2012.

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5sp172540.html. Acessado em 5 de Outubro de 2013.

http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8995. Acessado em 7 de Março de 2013.

http://www.agenciapcj.org.br/novo/informacoes-das-bacias/caracteristicas-climaticas/46-informacoes-das-bacias/caracteristicas-geopoliticas. Acessado em 20/09/2014.

http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=36. Acessado em 30/09/2015.

ANEXOS

Localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa.

Posto	Município	Bacia Hidrográfica	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (0)
1	Vargem	Rio Piracicaba	940	22,9	46,41
2	Joanópolis	Rio Piracicaba	920	22,93	46,26
3	Piracaia	Rio Piracicaba	790	23,05	46,36
4	Pinhalzinho	Rio Piracicaba	880	22,78	46,6
5	Itirapina	Rio Piracicaba	739	22,17	47,78
6	Pedra Bela	Rio Piracicaba	1090	22,8	46,45
7	Corumbataí	Rio Piracicaba	600	22,21	47,61
8	Ipeúna	Rio Piracicaba	630	22,43	47,71
9	Rio Claro	Rio Piracicaba	600	22,33	47,48
10	Rio Claro	Rio Piracicaba	600	22,41	47,55
11	Piracicaba	Rio Piracicaba	470	22,75	47,45
12	Santa Gertrudes	Rio Piracicaba	620	22,48	47,51
13	Limeira	Rio Piracicaba	640	22,56	47,36
14	Bragança Paulista	Rio Piracicaba	760	22,95	46,7
15	Bragança Paulista	Rio Piracicaba	800	22,88	46,63
16	Artur Nogueira	Rio Piracicaba	640	22,56	47,16
17	Cosmópolis	Rio Piracicaba	560	22,66	47,21
18	Americana	Rio Piracicaba	540	22,71	47,28
19	Mogi Mirim	Rio Piracicaba	590	22,51	46,95
20	Campinas	Rio Piracicaba	600	22,78	47,03
21	Campinas	Rio Piracicaba	710	22,88	47,08

22	Campinas	Rio Piracicaba	660	22,93	46,9
23	Amparo	Rio Piracicaba	670	22,71	46,77
24	Pedreira	Rio Piracicaba	590	22,75	46,93
25	Monte Alegre do Sul	Rio Piracicaba	750	22,7	46,66
26	Morungaba	Rio Piracicaba	750	22,88	46,78
27	Itatiba	Rio Piracicaba	690	22,98	46,83
28	Jarinu	Rio Piracicaba	730	23,00	46,71
29	Atibaia	Rio Piracicaba	730	23,10	46,55
30	Botucatu	Tietê/Sorocaba	780	22,81	48,43
31	Laranjal Paulista	Tietê/Sorocaba	460	23,02	47,81
32	Tietê	Tietê/Sorocaba	470	23,10	47,71
33	Monte Mor	Tietê/Sorocaba	560	22,96	47,29
34	Anhembi	Tietê/Sorocaba	560	22,68	48,11
35	Indaiatuba	Rio Capivari	570	23,10	47,18
36	Rio das Pedras	Rio Capivari	615	22,86	47,61
37	Itupeva	Rio Capivari	660	23,15	47,05
38	Jundiaí	Rio Capivari	700	23,18	46,87
39	São Carlos	Rio Capivari	676	22,15	47,88
40	Capivari	Rio Capivari	570	23,01	47,50
41	Sapucaí-Mirim	Paraíba do Sul	1100	22,44	45,44
42	Mogi-Mirim	Mogi-Guaçu	640	22,43	46,96
43	Socorro	Mogi-Guaçu	740	22,6	46,53
44	São Paulo	Alto Tietê	730	23,48	46,47
45	Itirapina	Tietê/Jacaré	732	22,34	47,91

46	Itirapina	Tietê/Jacaré	895	22,17	47,89
47	Brotas	Tietê/Jacaré	733	22,23	47,95
48	Brotas	Tietê/Jacaré	747	22,14	48,00
49	Torrinha	Tietê/Jacaré	720	22,38	48,16
50	Franco da Rocha	Rio Jundiaí	740	23,33	46,73
51	Piracicaba	Rio Piracicaba	546	22,42	47,38