

## INFLUÊNCIA DA OROGRAFIA NA PRECIPITAÇÃO DA ÁREA ENTRE O VALE DO RIO TIETÊ E A SERRA DA MANTIQUEIRA

Daniel Henrique Cândido\*  
Lucí Hidalgo Nunes\*\*

### RESUMO:

A presente pesquisa aborda a relação entre precipitação e altimetria na área situada entre o Vale do Rio Tietê (Depressão do Médio Tietê) e a Serra da Mantiqueira (Planalto de Serra Negra/Lindóia), no estado de São Paulo. A análise foi realizada por meio da elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), produzido utilizando-se o software Surfer, interpolando dados referentes à altitude e pluviosidade. Os mapas e os dados avaliados revelam a influência da orografia na intensificação da pluviometria do local em questão, mais marcadamente nos períodos mais chuvosos.

### PALAVRAS-CHAVE:

Chuvas orográficas; Relevo; Orografia; Precipitação; Clima.

### ABSTRACT:

This research shows the relationship between rainfall and altitude in the area located between the Tietê River's Valley and the Mantiqueira's Escarpment in São Paulo State, Brazil. In this analysis, a Digital Terrain Model (DTM) was created by using the software Surfer, which interpolated data of rainfall and altitude. The data and maps evaluated reveal the influence of the orography over the precipitation in the local, mainly during the periods with register higher amounts of precipitation.

### KEY WORDS:

Orographic Rainfall; Relief; Orography; Precipitation; Climate.

## INTRODUÇÃO

Situado em um terreno geologicamente antigo, o estado de São Paulo praticamente não apresenta elevações altimétricas significativas, exceto em alguns setores, como nas serras da Mantiqueira e do Mar. Mesmo assim, a presença de um relevo irregular e acidentado constitui um importante fator intensificador das precipitações nesse estado da federação. Acrescenta-se que climaticamente a região Sudeste é a que apresenta os maiores contrastes do país, em virtude da existência da grande diversidade dos atributos geográficos, além de ser uma área

transicional em termos de controles de grande e meso-escala.

Monteiro (1976) mostra que:

*...os mecanismos da circulação atmosférica regional apontam o primeiro grau de diferenciação climática no território paulista pela co-participação dos elementos básicos do Brasil meridional (amplitude térmica acentuada pelo jogo de sistemas meteorológicos contrastantes e pluviosidade fartamente distribuída o ano todo) e Centro-Oeste/Sudeste (com um período seco definido).*

\*Doutorando do Departamento de Geografia da Unicampe e membro do Laboratório de Estudos Climáticos do Instituto de Geociências da UNICAP-LECLIG. E-mail: daniel.candido@ige.unicamp.br

\*\*Docente do Departamento de Geografia da Unicamp e responsável e coordenadora do LECLIG. E-mail: luci@ige.unicamp.br

Em segundo grau, podemos considerar as interferências exercidas pelos fatores geomorfológicos, que atuam de modo a atenuar a existência dos períodos de precipitação reduzida.

Na Figura 1 podemos observar a localização da área a ser considerada nesta

pesquisa, que mede 21 mil km<sup>2</sup>, estando delimitada entre as seguintes coordenadas:

- A) 48°00'W e 22°00'S;
- B) 48°00'W e 23°15'S;
- C) 46°30'W e 22°00'S;
- D) 46°30'W e 23°15'S.

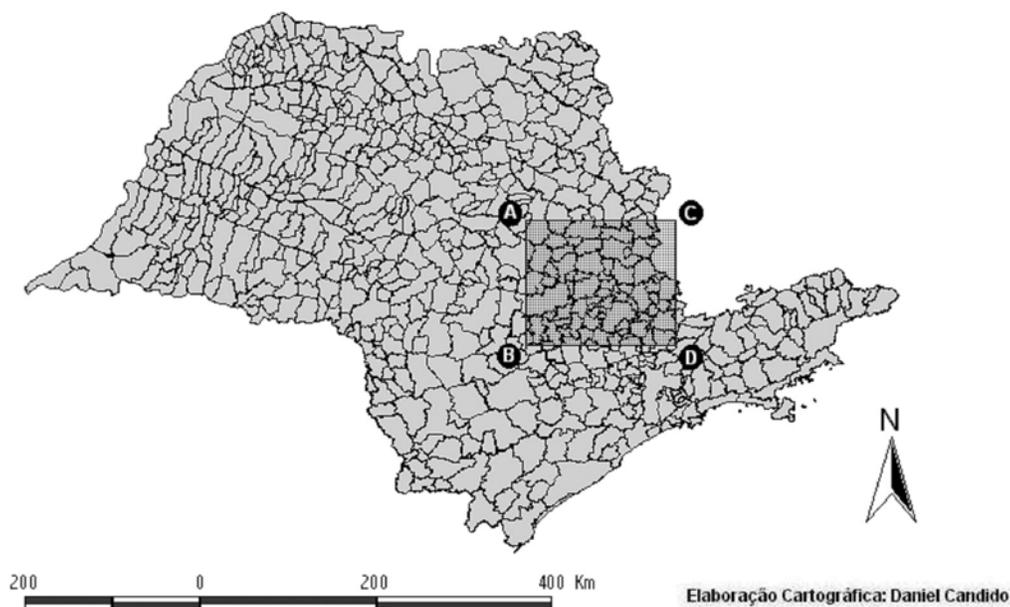


Figura 1. Localização da área de estudo

O conhecimento da influência da orografia na intensificação dos totais precipitados é um fator importante para a região deste estudo, pois ela engloba importantes áreas do Estado de São Paulo, entre as quais:

- O município de Campinas, com população superior a um milhão de habitantes, que conta com a presença de importantes universidades, indústrias e empresas de alta tecnologia, além do Aeroporto Internacional de Viracopos, que apresenta o maior terminal de cargas da América do Sul e movimenta cerca de 750.000 passageiros/ano. Atualmente

Viracopos responde por um terço de todas as mercadorias exportadas e importadas no Brasil.<sup>1</sup>

- A Região Metropolitana de Campinas (RMC), formada por 19 municípios – Americana, Artur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Itatiba, Jaguariúna, Monte-Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara d'Oeste, Santo Antônio da Posse, Sumaré, Valinhos, Vinhedo – que juntos, apresentam um Produto Interno Bruto equivalente a 25 bilhões

de dólares, e possuem uma população de aproximadamente 2,5 milhões de pessoas<sup>2</sup>.

- Áreas agrícolas, como a região de Piracicaba que é a maior em número de fornecedores de cana de açúcar e a segunda em produção, com 10 milhões de toneladas de cana, ou 22% da produção do estado de São Paulo<sup>3</sup>; o município de Limeira, que possui uma importante produção de citrus, além de parte da região de Espírito Santo do Pinhal, importante produtora de café.

- Diversos reservatórios e áreas de mananciais que abastecem vários municípios, dentre os quais algumas das represas do sistema Cantareira, que fornece água para cerca de 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo.

- Áreas turísticas como o "Circuito das Águas", que inclui os municípios de Águas de Lindóia, Amparo, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Serra Negra e Socorro.

Ademais, o conhecimento da dinâmica climática de um determinado lugar constitui informação estratégica no que concerne a seu planejamento, podendo auxiliar nos projetos de uso e ocupação desses locais. Assim, é importante que se saiba como a intensificação orográfica está atuando, dado o seu efeito dinamizador, que imprime localmente especificidades na dinâmica regional do regime de precipitações, diferenciando por vezes significativamente as alturas pluviométricas em locais geograficamente próximos.

A agricultura pode ser particularmente afetada pela variação dos montantes precipitados, sendo que cada tipo de cultura apresenta uma demanda específica por água, cuja falta ou excesso pode ser prejudicial à planta. Algumas vezes torna-se necessário o uso de técnicas de irrigação para se evitar a ocorrência de *stress* hídrico. Por outro lado, algumas culturas têm sua floração induzida de maneira mais intensa e maturação dos frutos mais rápida quanto estão sob esta mesma condição de *stress* hídrico.

Além disso, a área mapeada apresenta intensa urbanização e diversos modais de transporte, como importantes rodovias, aeroportos e ferrovias, que podem ser severamente afetados pela ocorrência de eventos pluviométricos. Por estar situada à jusante das bacias hidrográficas presentes nesta área, a hidrovia Tietê-Paraná também pode ser afetada pela dinâmica dessas precipitações.

Salienta-se que registros de inundações são relativamente frequentes em diversos municípios da área estudada, podendo ter sua ação intensificada por influência das formas de relevo (CANDIDO, 2007).

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados dados de precipitação de 89 estações pluviométricas mantidas pelo DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo - (Figura 2), em um período de 30 anos (1970-1999), conforme as normas da Organização Meteorológica Mundial (OMM – WMO). Tal período possibilita uma abrangência apropriada da variabilidade dos elementos climáticos na escala temporal e evita que algum evento extremo assuma importância demasiada na caracterização da pluviosidade dos locais, pois acaba diluído em um período temporal mais extenso.

Foi calculada a média aritmética mensal da precipitação de cada posto. Em seguida, os dados foram agrupados na escala sazonal, resultando nas informações constantes na Tabela 1, utilizada como base na composição das isoietas apresentadas nos mapas presentes neste trabalho. Para composição das estações do ano, o trimestre mais chuvoso (janeiro, fevereiro e março) foi considerado como verão, servindo como base para a distribuição dos demais períodos, conforme exibido na Tabela 2. Ainda que não correspondam exatamente ao período correspondente às estações *stricto sensu*, trata-se de uma aproximação suficiente para a escala temporal utilizada no trabalho desenvolvido.

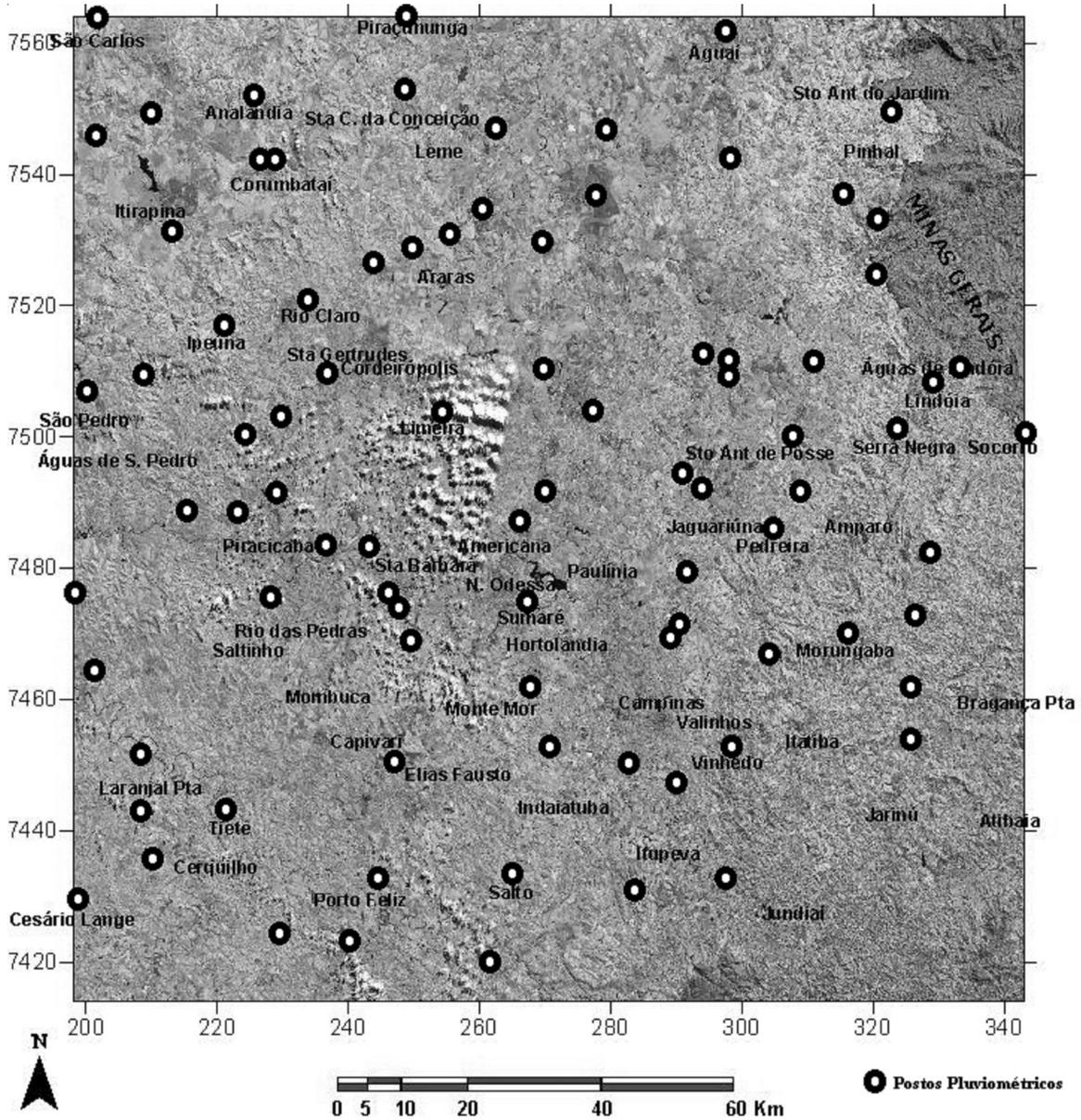


Figura 2: Distribuição dos postos pluviométricos utilizados no estudo (coordenadas em quilômetros, no sistema UTM, fuso 23K. Para conversão em Lat/Long, vide Tabela 1)

Para a elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) que serviu como base à pesquisa, foram obtidos dados altimétricos a partir de cartas topográficas em escala 1:50.000, editadas pelo IBGE. A partir das curvas de nível presentes nessas cartas, foram coletadas as informações concernentes à altimetria em toda a extensão da área em questão. Em alguns casos foi necessário incrementar a resolução espacial visando realçar a presença de certas feições geomorfológicas consideradas importantes para a compreensão do ambiente mapeado, como alguns morros, elevações e depressões, rios e as rupturas de declive mais intensas, presentes em algumas serras.

Em seguida, esses dados e as informações referentes à pluviometria foram processados com o uso do programa computacional Surfer versão 8.0, utilizando

neste procedimento o método geoestatístico da krigagem, que interpola o valor de cada *pixel* da imagem, calculando uma média ponderada de todos os dados situados nas proximidades da área analisada. Ele avalia a variação estática ou valores em diferentes distâncias e direções para determinar o tamanho e a forma da área de seleção ao redor do ponto, assim como o conjunto ponderado de fatores que produzem um erro mínimo nos locais estimados, o que possibilitou a elaboração de um mapa hipsométrico e de um Modelo Digital de Terreno que se aproximou bastante do terreno real.

Destaca-se que todos os mapas produzidos foram georreferenciados por meio de coordenadas do sistema de projeção UTM, estando contidas no fuso 23K. O elipsóide considerado foi o South América datum, de 1969 (SAD-69).

Tabela 1 - Dados obtidos nos postos pluviométricos mantidos pelo DAEE

Nome do Município	Latitude S	Longitude W	Altitude	Precipitação média (1970 - 1999)				Total Anual
				Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Águaí	22°03'	46°58'	660	752,99	358,91	88,23	364,50	<b>1564,63</b>
Águas de Lindóia	22°28'	46°38'	1040	796,01	351,23	121,82	395,38	<b>1664,45</b>
Americana	22°42'	47°17'	540	610,09	310,37	121,65	344,07	<b>1386,18</b>
Amparo	22°43'	46°50'	660	699,59	334,04	134,92	394,10	<b>1562,65</b>
Amparo	22°37'	46°51'	760	680,88	320,31	121,31	368,31	<b>1490,81</b>
Ananias	22°08'	47°40'	660	711,78	279,58	114,00	366,54	<b>1471,90</b>
Araçaras	22°18'	47°27'	720	683,86	311,77	115,41	380,69	<b>1491,73</b>
Araçaras	22°15'	47°23'	660	688,04	318,05	108,61	340,80	<b>1455,51</b>
Araçaras	22°16'	47°19'	600	667,67	301,06	102,38	346,37	<b>1417,48</b>
Artur Nogueira	22°34'	47°10'	640	613,77	325,48	106,93	323,33	<b>1369,51</b>
Boituva	23°17'	47°40'	630	566,26	287,21	141,31	312,21	<b>1307,00</b>
Bragança Paulista	22°57'	46°42'	770	662,67	269,05	100,59	302,52	<b>1334,83</b>
Campinas	22°56'	46°54'	690	689,11	339,45	141,24	383,41	<b>1553,20</b>
Campinas	22°53'	47°05'	710	671,79	323,04	127,15	343,78	<b>1465,75</b>
Campinas	22°47'	47°02'	600	681,85	308,34	125,97	367,81	<b>1483,96</b>
Campinas	22°50'	47°04'	630	714,41	329,41	126,77	355,98	<b>1526,57</b>
Campinas	23°01'	47°08'	640	578,82	294,57	126,66	324,48	<b>1324,54</b>
Capivari	23°00'	47°30'	500	592,02	280,42	128,86	297,99	<b>1299,29</b>
Capivari	22°53'	47°27'	570	598,96	286,75	119,67	314,25	<b>1319,63</b>
Cesário Lange	23°13'	47°57'	610	538,73	268,47	142,66	306,31	<b>1256,18</b>
Charqueada	22°31'	47°47'	600	662,32	330,99	111,57	363,28	<b>1468,16</b>
Charqueada	22°35'	47°41'	510	599,57	307,34	104,80	313,45	<b>1325,16</b>
Conchal	22°20'	47°11'	580	803,72	289,81	88,44	323,11	<b>1505,09</b>
Corumbataí	22°13'	47°37'	600	717,94	324,84	107,42	359,59	<b>1509,79</b>
Corumbataí	22°13'	47°37'	600	837,78	295,16	99,83	342,78	<b>1575,54</b>
Cosmópolis	22°40'	47°13'	560	642,27	327,44	121,25	342,73	<b>1433,70</b>
Engenheiro Coelho	22°29'	47°14'	660	636,72	344,16	103,48	330,35	<b>1414,70</b>
Espírito Santo do Pinhal	22°17'	46°46'	680	723,61	357,63	120,57	386,60	<b>1588,42</b>
Estiva Gerbi	22°13'	46°57'	670	644,24	309,39	101,72	347,68	<b>1403,04</b>
Holambra	22°38'	47°03'	600	632,80	322,07	123,53	343,56	<b>1421,96</b>
Indaial	23°05'	47°13'	630	613,02	279,94	132,69	309,77	<b>1335,42</b>
Indaial	23°10'	47°08'	700	639,06	296,90	149,11	338,26	<b>1423,33</b>
Ipeúna	22°26'	47°43'	630	700,53	341,32	115,68	348,85	<b>1506,38</b>
Itapira	22°27'	46°49'	660	695,48	318,74	117,73	346,03	<b>1477,98</b>
Itapira	22°22'	46°44'	660	731,83	338,59	121,27	357,60	<b>1549,29</b>
Itapira	22°20'	46°43'	700	870,84	410,26	142,19	462,27	<b>1885,56</b>
Itirapina	22°14'	47°48'	790	706,01	329,67	105,85	340,53	<b>1482,06</b>
Itirapina	22°10'	47°54'	690	751,93	320,83	109,76	372,68	<b>1555,21</b>
Itirapina	22°18'	47°45'	610	707,82	346,74	115,83	362,92	<b>1533,30</b>
Itu	23°20'	47°20'	640	589,14	288,40	142,97	323,32	<b>1343,82</b>
Itupeva	23°05'	47°03'	690	665,06	329,74	136,73	345,92	<b>1477,46</b>
Jaguariuna	22°40'	46°58'	570	645,20	320,85	125,48	343,18	<b>1434,72</b>
Jarinú	23°00'	46°43'	730	660,65	328,58	154,45	377,06	<b>1520,73</b>
Jundiaí	23°12'	46°59'	730	652,68	291,03	144,77	348,08	<b>1436,56</b>
Jurumirim	23°09'	47°48'	490	564,81	294,95	136,00	289,16	<b>1284,92</b>

Laranjal Paulista	22°55'	47°54'	470	604,83	301,07	135,76	309,54	<b>1351,19</b>
Laranjal Paulista	23°02'	47°51'	490	570,87	274,49	129,90	314,55	<b>1289,81</b>
Leme	22°10'	47°17'	600	662,03	300,79	97,76	361,22	<b>1421,80</b>
Limeira	22°34'	47°22'	640	616,90	302,81	108,75	343,38	<b>1371,84</b>
Lindóia	22°31'	46°39'	680	747,19	357,93	120,23	367,80	<b>1593,15</b>
Moji Guaçu	22°10'	47°08'	590	656,09	305,90	99,53	340,32	<b>1401,84</b>
Moji Guaçu	22°17'	47°09'	580	631,58	298,79	99,78	346,31	<b>1376,46</b>
Moji Mirim	22°26'	46°58'	640	761,09	330,21	115,13	320,51	<b>1526,94</b>
Moji Mirim	22°31'	46°57'	590	676,92	326,55	121,77	340,71	<b>1465,95</b>
Moji Mirim	22°27'	46°57'	630	668,64	328,70	118,25	326,80	<b>1442,40</b>
Monte Alegre do Sul	22°42'	46°40'	750	768,24	356,65	137,83	411,28	<b>1674,00</b>
Monte Mor	22°56'	47°15'	610	616,23	293,59	129,91	337,17	<b>1376,90</b>
Morungaba	22°53'	46°47'	750	718,38	361,58	150,59	398,55	<b>1629,10</b>
Pedra Bela	22°48'	46°27'	1090	750,98	374,98	145,99	405,68	<b>1677,63</b>
Pedreira	22°45'	46°56'	590	681,95	336,66	133,30	380,78	<b>1532,69</b>
Piracicaba	22°41'	47°42'	500	634,09	298,66	107,84	335,06	<b>1375,64</b>
Piracicaba	22°41'	47°46'	470	570,73	307,11	113,44	305,07	<b>1296,34</b>
Piracicaba	22°45'	47°31'	510	592,58	288,43	117,17	335,26	<b>1333,43</b>
Piracicaba	22°34'	47°36'	590	662,70	315,81	109,83	357,03	<b>1445,37</b>
Piracicaba	22°43'	47°39'	500	665,10	294,18	107,38	327,85	<b>1394,51</b>
Piracicaba	22°47'	47°58'	490	565,06	302,50	119,89	309,10	<b>1296,55</b>
Pirassununga	22°02'	47°25'	670	775,78	280,03	89,31	317,91	<b>1463,04</b>
Porto Feliz	23°12'	47°31'	540	625,44	251,21	99,74	291,23	<b>1267,63</b>
Porto Feliz	23°18'	47°32'	600	556,11	268,76	146,77	287,82	<b>1259,46</b>
Rio Claro	22°25'	47°33'	600	695,67	327,39	121,55	360,68	<b>1505,28</b>
Rio Claro	22°20'	47°29'	600	687,60	311,93	111,34	360,42	<b>1471,29</b>
Rio das Pedras	22°52'	47°37'	615	707,97	287,93	79,67	313,70	<b>1389,27</b>
Salto	23°12'	47°18'	500	555,48	254,02	133,93	297,10	<b>1240,53</b>
Santa Bárbara d'Oeste	22°49'	47°28'	600	588,83	300,80	128,73	351,24	<b>1369,60</b>
Santa Bárbara d'Oeste	22°50'	47°26'	560	627,04	295,39	127,45	358,47	<b>1408,36</b>
Santa Bárbara d'Oeste	22°45'	47°27'	540	612,53	334,05	126,21	371,20	<b>1444,00</b>
Santa Gertrudes	22°07'	47°25'	620	700,30	323,67	122,40	372,72	<b>1519,08</b>
São Carlos	22°29'	47°31'	620	743,44	340,83	93,22	380,98	<b>1558,46</b>
São Carlos	22°09'	46°43'	870	734,10	339,07	110,18	379,00	<b>1562,34</b>
São Pedro	21°47'	47°47'	600	671,51	343,42	119,08	354,68	<b>1488,68</b>
Serra Negra	22°01'	47°53'	940	771,26	353,88	130,51	407,25	<b>1662,89</b>
Socorro	22°32'	47°55'	740	713,70	356,57	109,80	432,86	<b>1612,92</b>
Sta. Cruz da Conceição	22°36'	46°42'	620	720,54	297,39	98,38	352,99	<b>1469,30</b>
Sto. Antonio do Jardim	22°36'	46°32'	900	819,71	340,51	87,11	380,16	<b>1627,49</b>
Sumaré	22°51'	47°15'	540	691,10	296,15	98,85	349,97	<b>1436,07</b>
Tietê	23°00'	47°43'	570	536,79	292,84	128,00	301,26	<b>1258,88</b>
Tietê	23°06'	47°43'	470	526,67	281,67	128,92	289,67	<b>1226,93</b>
Tuiuti	22°49'	46°41'	770	374,80	323,55	76,65	489,00	<b>1264,00</b>
Vinhedo	23°02'	46°58'	700	660,10	352,74	152,63	379,09	<b>1544,55</b>

## O EFEITO DA TOPOGRAFIA SOBRE AS PRECIPITAÇÕES

O efeito orográfico nas precipitações tem sido objeto de estudo já há algum tempo (CONTI (1967) esclarece que

*...o efeito orográfico sobre as precipitações é bastante conhecido. Ele é, com efeito, notável nas grandes cadeias do Globo, como por exemplo, nos Andes, nas Montanhas Rochosas, etc. Por outro lado, um fenômeno também bastante freqüente é o da formação de nuvens orográficas sobre montanhas sensivelmente mais baixas. Seria de se esperar, portanto, a constatação do efeito orográfico sobre as precipitações em barreiras montanhosas de pequena escala.*

Vários autores já desenvolveram estudos tendo como foco principal a influência das diferenças entre altimetria e exposição de vertentes nos montantes pluviais, como Conti (1967, 1973), Nunes (1993), Puvaneswaran e Smithson (1991), Blanco e Massambani (2000), Oliveira et al (2000) e Zobot (2000). Em outros estudos sobre variabilidade da precipitação esse aspecto também foi abordado (NUNES, 1990, SANT'ANNA NETO, 1995, NUNES, 1997 etc.).

É importante ressaltar que as chuvas orográficas não são as únicas gêneses indutoras de precipitação mapeadas neste trabalho, pois a orografia consiste apenas em um agente intensificador das precipitações, de modo que este trabalho objetivou a realização de um mapeamento no qual altitude e pluviometria estão relacionadas, independentemente da origem da precipitação (convectiva ou frontal, as mais atuantes no setor).

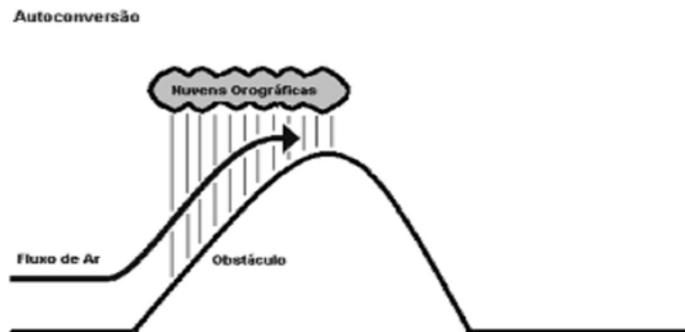
As chuvas orográficas ocorrem quando uma parcela de ar dotada de certo teor de umidade movimenta-se paralelamente à superfície até encontrar um obstáculo, como a encosta de uma escarpa ou de uma montanha. Quando isso acontece, o ar tende a continuar seu percurso devido à energia cinética que possui, elevando-se conforme a inclinação do terreno. Como o gradiente médio de decréscimo de temperatura é de 6 a 7°C para cada 1000 metros

de elevação (gradiente pseudoadiabático), o ar resfria-se cada vez mais à medida que se eleva devido ao obstáculo. Com isso, essa parcela de ar poderá se condensar, o que ocorrerá quando a temperatura do ponto de orvalho tornar-se igual ou maior que a temperatura dessa própria parcela, formando colunas de nuvens, normalmente situadas sobre esses obstáculos. Dessa forma, nas áreas a sotavento de um obstáculo, como uma cadeia montanhosa, há uma queda nos totais pluviométricos devido ao fato do ar já ter perdido parte ou a totalidade de sua umidade ao transpô-lo (descompressão adiabática). Um exemplo desse fenômeno, conhecido como Chinook, efeito Föhn ou ainda *rainshadow effect* (sombra de chuva), consiste na presença do Deserto da Patagônia, situado a sotavento da Cordilheira dos Andes, Deserto de Gobi na Mongólia, ou também o Vale da Morte (Death Valley) na Califórnia, que fica a sotavento das montanhas "Sierra Nevada" (LUTGENS e TARBUCK, 1998; OLIVER e HIDORE, 2002).

No estado de São Paulo as elevações não são proeminentes a ponto desse fenômeno ser observado na mesma amplitude dos locais anteriormente citados, mas é possível notar certas zonas situadas a sotavento de alguns obstáculos onde os totais precipitados são inferiores aos valores de pontos situados a barlavento, mesmo estando em altitudes equivalentes.

Vários mecanismos podem provocar uma intensificação orográfica dos totais pluviométricos ocorridos no local estudado, dentre os quais se destacam três processos básicos, que podem atuar individualmente ou em conjunto: autoconversão, *seeder-feeder* e convecção disparada (BLANCO e MASSAMBANI, 2000).

Na autoconversão (Figura 3), a chuva desenvolve-se graças à condensação resultante da ascensão do ar devido à necessidade de transpor um obstáculo natural, sem possuir nenhuma relação com outras nuvens pré-existentes. Existe uma variação desse mecanismo chamada *tree-drip*, na qual as gotículas geradas pela ascensão forçada do ar são removidas diretamente da nuvem pelas folhas da vegetação local.

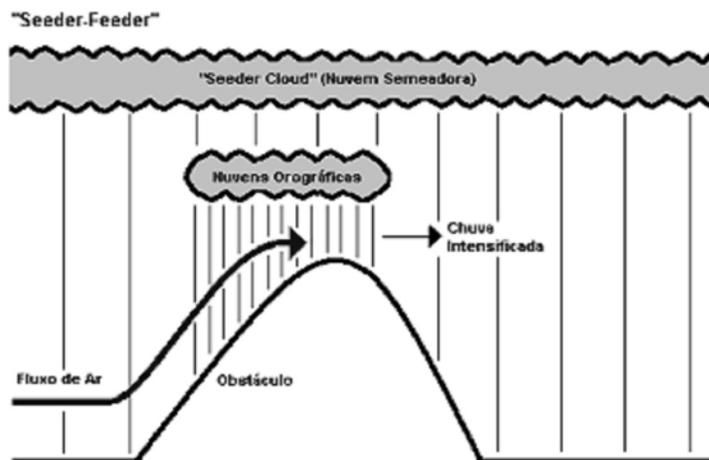


Elaboração da figura: Daniel Candido, 2003.

Figura 3. Mecanismo de autoconversão

No mecanismo *seeder-feeder* (Figura 4), a chuva que precipita de uma nuvem mais alta pré-existente, chamada de nuvem semeadora (*seeder*), é intensificada quando passa através

de nuvens orográficas, coletando suas gotículas. Muitas vezes essas duas nuvens combinam-se em uma única formação.

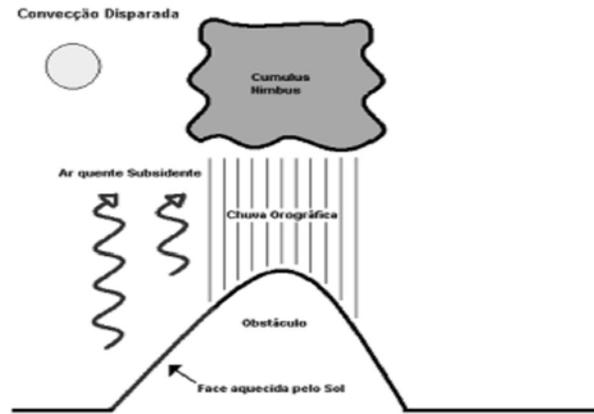


Elaboração da figura: Daniel Candido, 2003.

Figura 4. Mecanismo *seeder-feeder*

A *convecção disparada* (Figura 5) ocorre quando nuvens formam-se nas correntes térmicas ascendentes originadas pelo lado iluminado pelo sol em uma montanha. Ao entrar em contato com a face aquecida desse obstáculo a parcela de ar também se aquece e, conseqüentemente, torna-se menos densa e se eleva. Ao atingir maiores altitudes, esse

ar resfria-se devido à perda adiabática da temperatura, condensa a umidade que carregou durante o processo e origina nuvens do tipo cumulonimbus, que são caracterizadas por seu considerável desenvolvimento vertical, reflexo da grande instabilidade das condições atmosféricas.



Elaboração da figura: Daniel Candido, 2003.

Figura 5. Mecanismo de convecção disparada

## RESULTADOS

A área de estudo foi dividida em quatro setores, conforme as características geomorfológicas apresentadas (Figura 6). O Setor I, situado a Noroeste da carta corresponde ao Planalto Residual de São Carlos. O Setor II

indica as Cuestas Basálticas que se situam no contato entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista. O Setor III, no centro da carta, corresponde à Depressão Periférica. O Setor IV cobre o Planalto Cristalino Paulista, que inclui os planaltos de Jundiá e de Serra Negra/Lindóia (Serra da Mantiqueira).

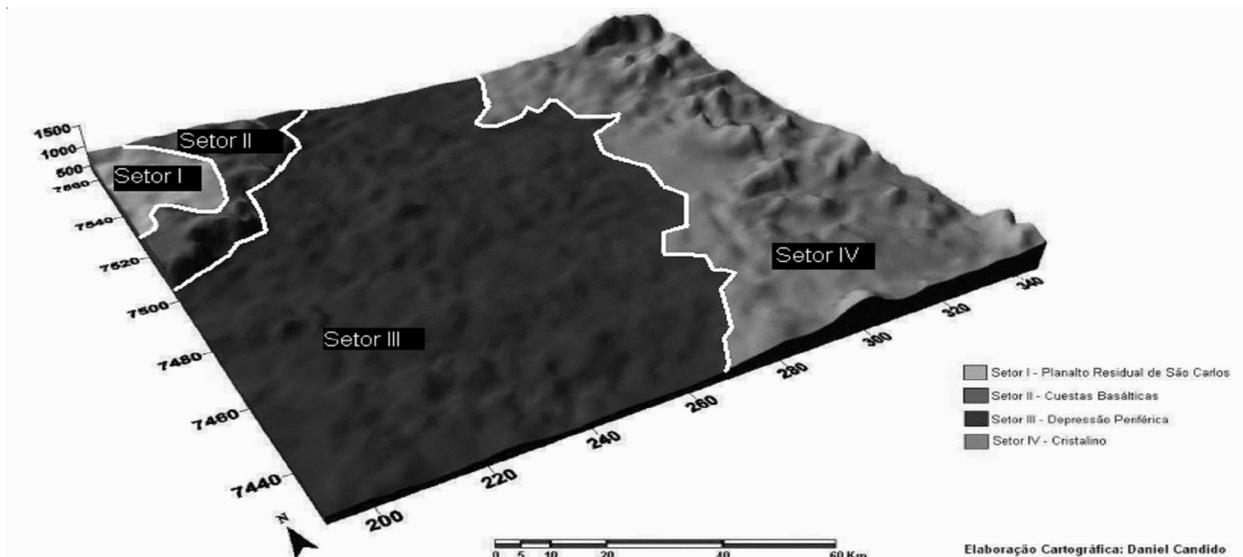


Figura 6. Modelo Digital de Elevação com a divisão dos setores considerados nesta pesquisa (coordenadas em quilômetros, no sistema UTM, fuso 23K)

### Distribuição das precipitações no inverno

Optou-se por iniciar a análise pelo período correspondente ao inverno, pois essa é a estação sazonal que apresenta uma distribuição mais homogênea da precipitação. A pluviosidade média é de 119 mm (Tabela 2), variando entre o mínimo de 80 mm, registrado no município de Rio das Pedras, até o máximo de 144 mm em Jarinú, sem que se possa observar grandes alterações induzidas pela orografia.

Nos Setores I e II a distribuição da precipitação é relativamente homogênea, com totais variando entre 100 mm e 120 mm em toda a área. No Setor III observa-se a existência de um pequeno gradiente dos totais, que estão entre valores menores que 100 mm, ao Norte, até 140 mm, ao Sul. Apesar dessa amplitude

ser praticamente constante, percebe-se a existência de uma pequena zona situada ao centro da carta, mais precisamente no interflúvio dos rios Tietê e Piracicaba, onde se registra pluviosidade total menor que 100 mm. No Setor IV também é possível notar a existência de um gradiente semelhante ao observado no Setor III.

Conforme evidenciado pela Figura 7, não se observam grandes alterações nos totais precipitados durante o inverno, sendo que durante essa estação os mecanismos de circulação de meso-escala se sobrepõem aos fatores locais, fazendo com que as precipitações ocorram em função da atuação das linhas de instabilidade que advêm como consequência da ação das frentes que surgem devido ao deslocamento do ar polar, ocorrência observada com frequência maior nesse período do ano.

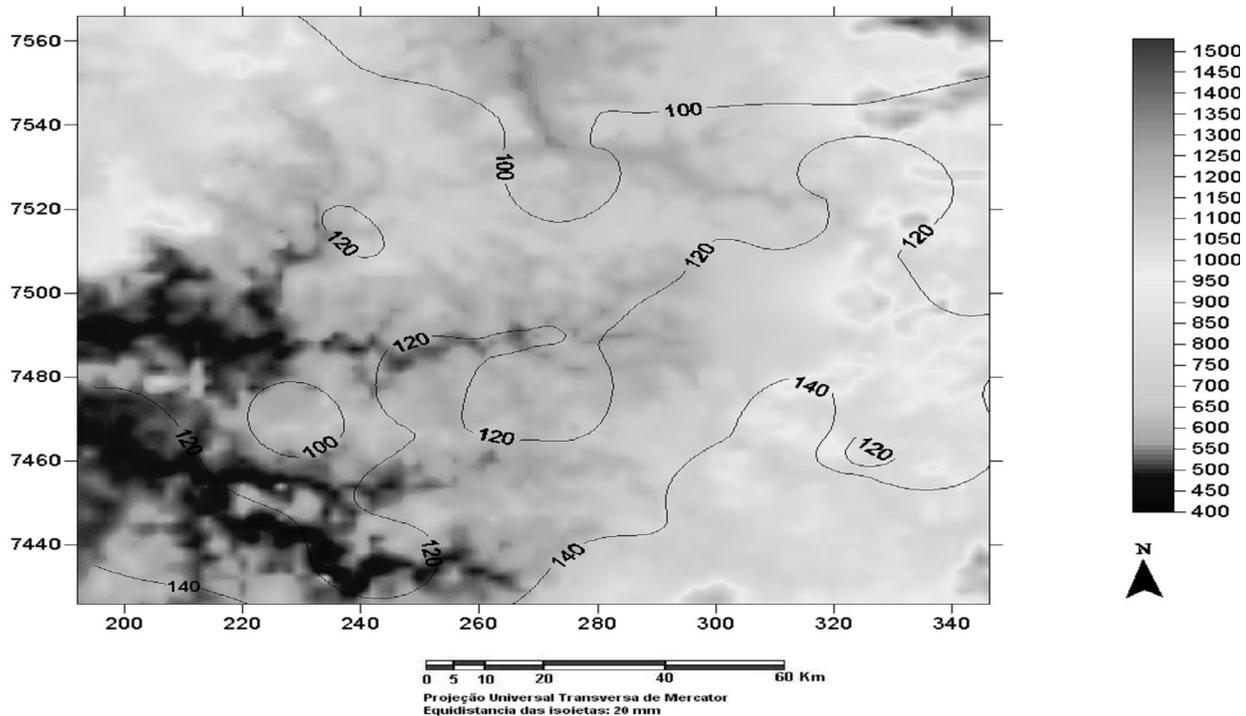


Figura 7. Distribuição da pluviosidade no inverno (coordenadas em quilômetros, no sistema UTM, fuso 23K)

Mesmo nas áreas mais elevadas, não há uma influência bem definida da altimetria. Como exemplo podemos observar a zona das Cuestas onde, mesmo apresentando altitudes maiores que 1000 metros em certos pontos, não observamos alterações significativas nos totais precipitados.

Podemos notar uma diminuição gradativa da pluviometria em todo o norte da área analisada. Isso ocorre de forma geral, sem que haja relações aparentes com o diferencial altimétrico, salientando o predomínio dos sistemas frontais neste período. Por isso, de modo geral, podemos afirmar que durante o inverno a precipitação varia conforme o deslocamento das massas de ar que, sendo um controle de meso-escala atua em grandes porções do território, não imprimindo assim, especificidades locais, o que faz com que a influência das variações topográficas observadas nessa área seja pouco significativa.

### Distribuição das precipitações na primavera

Durante a primavera, observa-se maior amplitude na precipitação total, que certamente sofre influência de fatores locais em sua distribuição (Figura 8). A média total para a área nesse período é de 348 mm (Tabela 2). Os totais precipitados variam entre 287 mm registrados em Porto Feliz, até 462 mm, em Itapira.

Os Setores I e II apresentam pluviosidade, em média, 20 mm maiores que áreas situadas em latitudes equivalentes, mas em cotas menos elevadas. As isoietas indicam ligeira elevação na pluviometria a partir da zona das Cuestas (Setor II), sendo provável que esse fenômeno esteja ligado ao fato dessa configuração do relevo atuar como agente intensificador da precipitação.

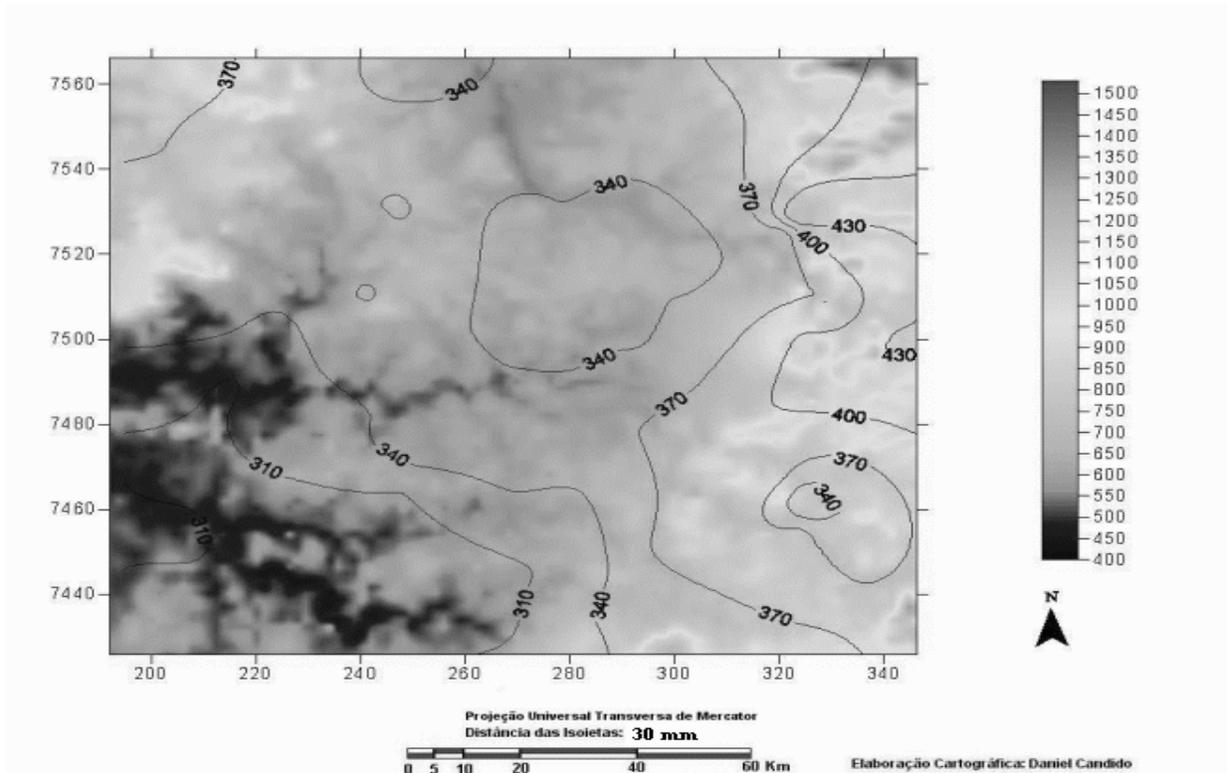


Figura 8. Distribuição da pluviometria na primavera

No Setor III verifica-se que a pluviometria varia desde montantes abaixo de 310 mm, no Vale do Rio Tietê, até acima de 340 mm na zona central deste setor. As maiores amplitudes pluviométricas estão no Setor IV, onde se observam desde valores menores que 340 mm, até alturas que superam 430 mm, nas proximidades da Serra da Mantiqueira. Nota-se, ao Sul deste setor, a existência de uma área onde ocorre um decréscimo na precipitação. Essa anomalia espacial também pode ser observada durante o outono.

Quando comparamos dois postos em latitudes semelhantes, mas com altitude e morfologia distintas, notamos claramente que há uma relação entre altimetria e pluviosidade. Um bom exemplo para esta estação do ano, consiste na variação observada entre o posto instalado no município de Ipeúna, situado em uma altitude de 630 metros, na latitude 23°05', e o posto de Águas de Lindóia, a 1040 metros, em região serrana, cuja latitude é 22°28'. O primeiro apresenta pluviosidade de 348 mm, enquanto no segundo este valor sobe para 395

mm. O município de Socorro (latitude 22°32'), apesar de estar localizado em uma altitude menos significativa (740 metros), apresenta totais pluviométricos ainda mais elevados, atingindo 433 mm. Isso provavelmente ocorre em consequência da exposição das vertentes em relação ao deslocamento das massas de ar, além da presença de um terreno bastante acidentado neste local, fatores que podem induzir o desenvolvimento de precipitações orográficas.

#### Distribuição das precipitações durante o verão

O verão é a estação com os maiores contrastes na precipitação para a área estudada (Figura 9). Os totais precipitados variam de 526 mm, registrados no município de Tietê, até o máximo de 871 mm em Itapira. Essa estação apresenta média de 668 mm, ou seja, quase o dobro do observado durante a primavera, a segunda estação mais chuvosa (Tabela 2).

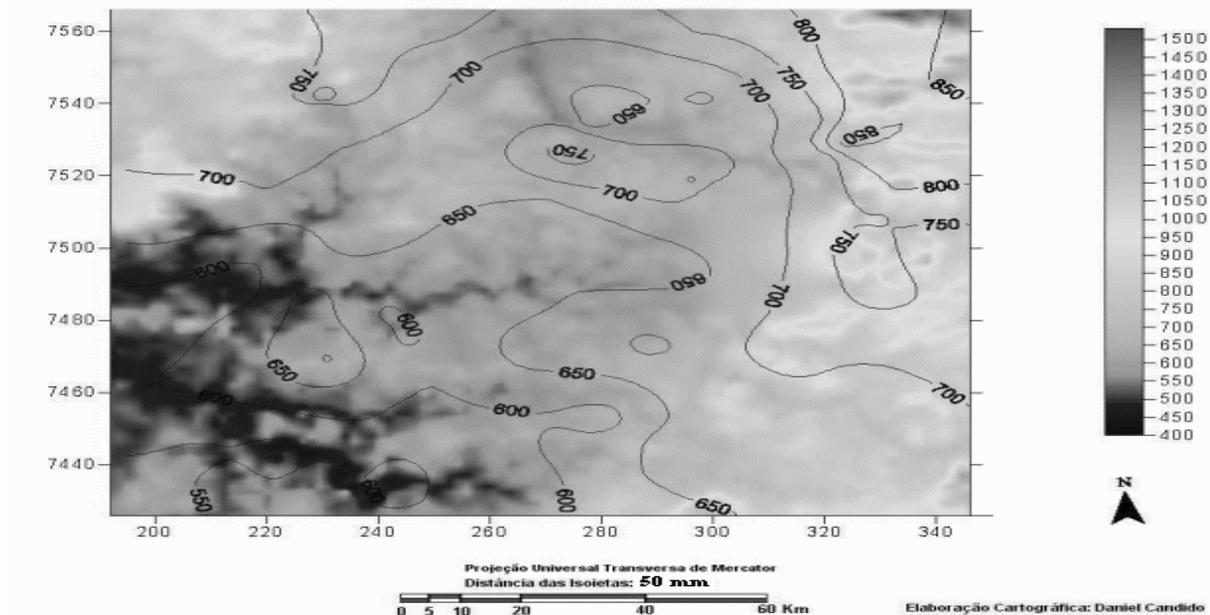


Figura 9. Distribuição da pluviometria no verão

O Setor I está situado inteiramente dentro das faixas que delimitam a pluviosidade entre 700 a 750 mm, quantidade visivelmente inferior à registrada na porção Norte do Setor II, que apresenta totais acima de 750 mm nesse período. Essa diferenciação possivelmente ocorre em função da dinamização pelo efeito orográfico induzida pela presença das Cuestas, que atuam como uma barreira ao avanço do ar, provocando a formação de nuvens orográficas quando as parcelas de ar galgam esse obstáculo, resultando no desenvolvimento dos fenômenos descritos como autoconversão e seeder-feeder.

No Setor III, os totais precipitados aumentam conforme se avança para o Norte, variando desde menos de 550 mm, nas proximidades do Vale do Rio Tietê, até acima de 750 mm em sua porção mais setentrional. Porém, ao longo deste setor, observam-se locais com acréscimo ou decréscimo na pluviometria.

A chuva do Setor IV também é amplamente diversificada, com um mínimo de 650 mm em sua zona meridional e máximo acima de 850 mm, na Serra da Mantiqueira. A pluviosidade deste setor está intimamente ligada à altimetria e à morfologia do terreno, chegando a existir gradientes superiores a 150 mm quando comparamos áreas com latitudes equivalentes, mas altitudes contrastantes. Como exemplo, pode ser considerado o posto de Analândia, que, estando situada a 660 metros e na latitude 22°08', apresenta 712 mm de precipitação, enquanto que em Santo

Antonio do Jardim, praticamente na mesma latitude, porém em setor serrano (altitude de 900 metros), a pluviosidade se eleva, chegando ao total de 820 mm, ou seja, uma diferença de 108 mm.

Há um gradiente análogo entre os postos instalados nos municípios de Tietê e Jundiá. O primeiro está situado a uma altitude de 470 metros na latitude 23°06' e apresenta 527 mm de pluviometria; no segundo, em um setor mais acidentado, a 730 metros de altitude e latitude de 23°12', a chuva equivale a 653 mm, com uma diferença de 126 mm.

No verão uma parte substancial da precipitação possui gênese convectiva. Como a influência da orografia é mais presente nessa estação, observa-se que a dinamização orográfica (fator mais pontual) é particularmente favorecida quando da ocorrência de chuvas mais localizadas - fator também observável na primavera.

#### **Distribuição das precipitações no outono**

No outono percebe-se a existência de poucos contrastes, assemelhando-se à estrutura dominante no inverno, ainda que com montantes de precipitação diferentes, conforme evidenciado na Figura 10. Os volumes observados em toda a área variam entre 251 mm em Porto Feliz, até 410 mm em Itapira, tendo por média 315 mm (Tabela 2).

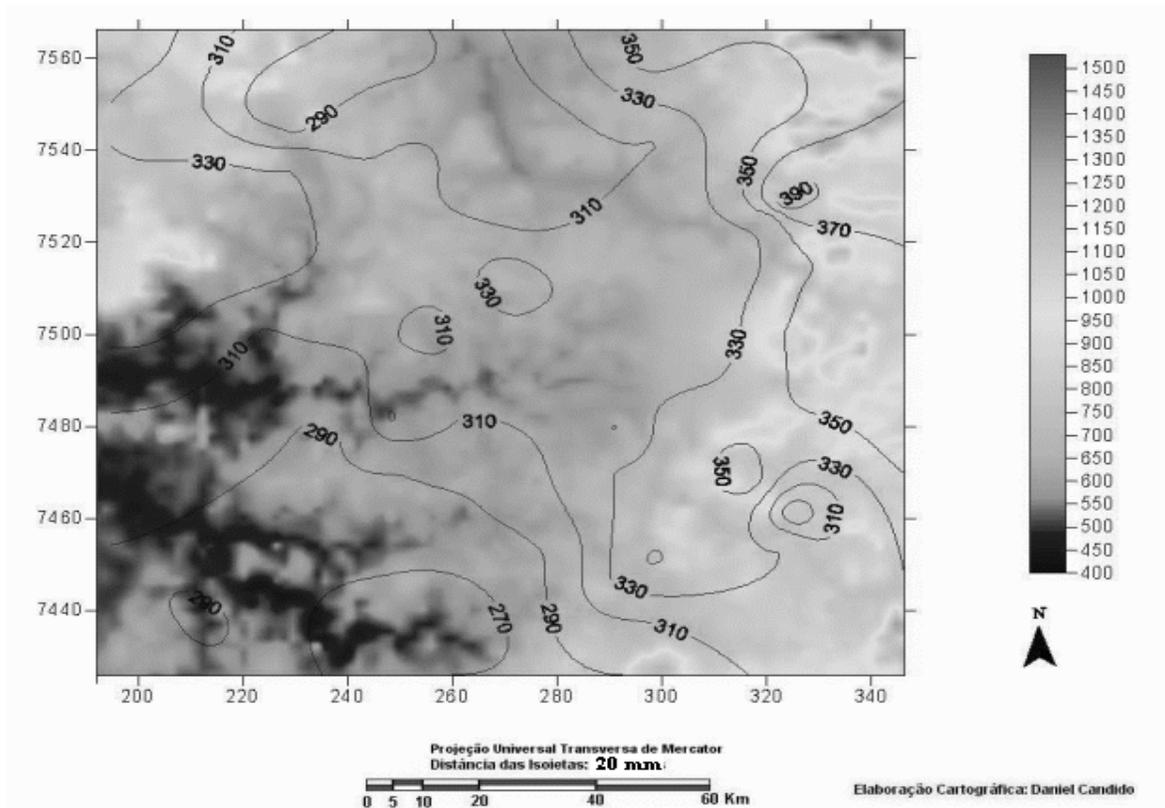


Figura 10. Distribuição da pluviosidade no outono

A pluviosidade média do Setor I é mais elevada do que nas áreas adjacentes sitas em latitudes semelhantes, dada a sua altitude. Há uma redução da pluviosidade na porção Setentrional do Setor II, que apresenta altura pluviométrica de 290 mm, contra mais de 330 mm em sua porção Sul, portanto, com uma variação superior a 40 mm.

No Setor III percebe-se a existência de certa heterogeneidade na distribuição das precipitações, que são mais intensas na zona de contato entre a Depressão Periférica e o Cristalino, onde chegam a atingir montantes equivalentes a 350 mm. Há uma elevação nos totais no centro deste setor e, novamente, a área menos chuvosa corresponde ao Vale do Rio Tieté, onde se registra valores em torno de 270 mm.

No Setor IV há um amplo gradiente dos volumes observados, que podem variar desde 290 mm ao Sul, até valores superiores a 390 mm nas proximidades da Serra da Mantiqueira, perfazendo uma diferença superior a 100 mm. As precipitações são bastante influenciadas pelo relevo desse setor, destacando-se a existência de uma área, em sua porção Sul, onde se nota uma queda nos montantes precipitados. Visto que essa mesma anomalia também pode ser observada durante a primavera, podemos considerar que, provavelmente, trata-se de um fenômeno semelhante ao efeito *Föhn*, ainda que em menor intensidade, tendo em vista que as diferenças altitudinais não são tão consideráveis.

Pode-se notar que a altimetria também aparece como importante fator na distribuição das precipitações ocorridas nessa estação. Quando comparamos a chuva entre municípios em latitudes relativamente próximas, essa influência fica ainda mais evidente. É o caso da variação observada entre o posto instalado em Mogi-Guaçu e o posto de Águas de Lindóia: o primeiro está situado a 22°28' de latitude e altitude de 580 metros, registrando 299 mm de precipitação nesse período; o segundo, na latitude 22°10' e altitude de 1040 metros, tem um total de 351 mm, totalizando uma variação de 52 mm.

#### Distribuição anual da precipitação

Assim como já fora observado na escala

sazonal, os dados referentes às médias anuais também indicam a existência de grande amplitude nas alturas de precipitação para a área estudada, sendo que a orografia influencia bastante na distribuição geográfica desse elemento. A precipitação média anual do local é de 1450 mm (Tabela 2); a menor incidência de precipitações é registrada no Vale do Rio Tietê, mais precisamente no município de Tietê, onde se observa um total de 1226 mm, valor que pode ser considerado modesto quando comparado com os 1886 mm medidos em Itapira, local que registrou o maior volume de precipitação. Existe, portanto, uma amplitude de 660 mm entre as médias desses dois locais, sendo o relevo um dos principais condicionantes para o surgimento de tal contraste.

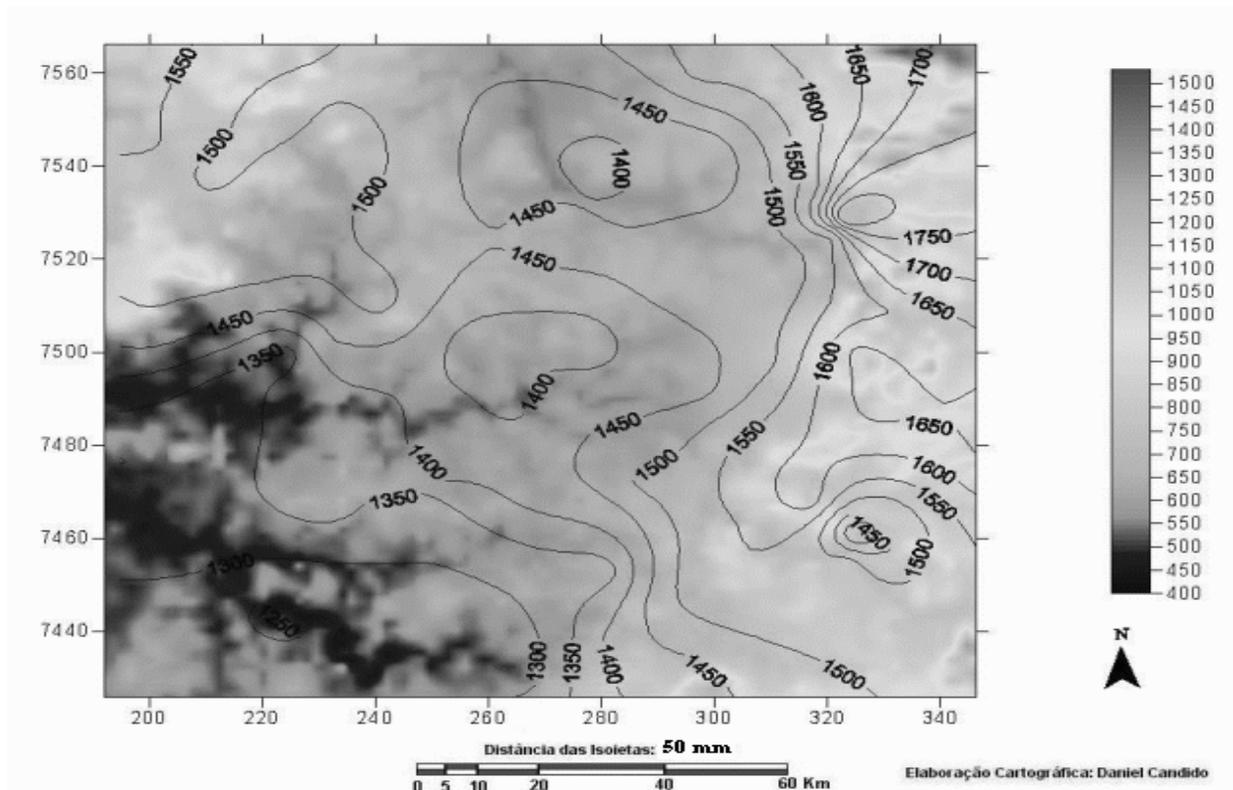


Figura 11. Distribuição anual da pluvimetria

O exame da Figura 11 permite observar que o Setor I apresenta distribuição relativamente homogênea dos totais de precipitação, que variam entre 50 e 100 mm acima dos observados em áreas de latitude similar, mas com menor altitude. Esse setor tem sua dinâmica intimamente ligada ao Setor II, sendo que as Cuestas são responsáveis pela intensificação orográfica no local.

O Setor III apresenta menores alturas pluviométricas em sua porção Meridional, nas proximidades do Rio Tietê. As áreas próximas ao contato com o Planalto de Serra Negra/Lindóia, na área Setentrional deste setor, são as com registro dos maiores volumes,

provavelmente por receberem a contribuição do terreno acidentado situado nas adjacências.

O local onde se observam as maiores heterogeneidades é o Setor IV, com totais variando desde acima de 1800 mm nas áreas mais elevadas (Serra da Mantiqueira), até valores menores que 1450 mm.

Analisando a configuração dos mapas obtidos, pode-se afirmar que o padrão de distribuição espacial das chuvas permanece praticamente o mesmo ao longo do ano, sendo que o que muda são os montantes precipitados, salientando que essa diferenciação tende a ser maior nas áreas com relevos mais elevados e irregulares.

Tabela 2. Distribuição sazonal e anual dos valores médios de precipitação.

<b>Estação sazonal (meses)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Verão (jan, fev, mar)	668	871	576
Outono (abr, mai, jun)	315	410	315
Inverno (jul, ago, set)	119	144	80
Primavera (out, nov, dez)	348	462	287
<b>Total Anual</b>	<b>1450</b>	<b>1886</b>	<b>1226</b>

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A orografia é um importante fator atuante no estudo da dinâmica dos elementos constituintes do clima, e na área analisada age de forma a intensificar ou reduzir os montantes de precipitação. Nos locais de relevo mais irregular percebe-se a existência de maiores amplitudes nos totais pluviométricos, sendo que se observa a influência não somente da altimetria, mas também de toda a morfologia. Um relevo irregular pode condicionar a ocorrência de precipitações orográficas que atuam em conjunto com outros fatores, intensificando a pluviosidade total desses locais. É o caso da área situada nas proximidades de Itapira e da Serra da Mantiqueira, onde foram

registrados valores acima da média em todos os períodos considerados.

De modo geral, a distribuição espacial das precipitações é mais regular nas áreas menos elevadas e mais planas, pois a morfologia do terreno exerce pouca influência na intensificação das chuvas nesses locais. Há uma coincidência entre as altitudes menos elevadas e as menores pluviometrias; é o caso do Vale do Rio Tietê, que apresenta valores abaixo da média em todos os períodos avaliados.

Também é importante ressaltar a existência de uma zona de sombra de chuva, situada em um vale encaixado no Cristalino

paulista. Essa anomalia aparece, sobretudo, nos períodos correspondentes ao outono e ao inverno. Somente com os dados obtidos nesse trabalho e na escala aqui utilizada não foi possível desvendar qual a origem dessa sombra, mas é possível formular a hipótese de que ela possivelmente ocorreu devido ao fato da parcela de ar perder umidade ao transpor a Serra da Mantiqueira.

Em termos sazonais, a influência da orografia é bastante minimizada no inverno, o que está associado à gênese de precipitação prevalente nesse período. Elaborando mapas de isoietas sazonais, os trabalhos da Secretaria dos Serviços e Obras Públicas (1972), Monteiro (1973) e Nunes (1997) ressaltaram que as precipitações de inverno no estado de São Paulo têm um padrão espacial francamente latitudinal, dado o avanço dos sistemas extratropicais das altas para as baixas latitudes. As precipitações

frontais são especialmente mais abrangentes, perduram por mais tempo e são menos influenciadas pela dinamização orográfica. Em contraste, no verão dominam as precipitações convectivas, (conjugação entre maior disponibilidade de umidade e altas temperaturas) sendo muito mais efêmeras e pontuais e, nesse caso, a influência da orografia é mais nítida, resultando em totais bastante diferenciados entre os postos.

Outro aspecto a se destacar é que essa análise evidenciou a maior similaridade das precipitações nos semestres outono-inverno e verão-primavera. Ainda que esse fato seja conhecido, sublinha-se aqui que a configuração do relevo como fator importante na dinamização das precipitações contribui para isso em alguma extensão. O estudo destaca também a importância da escala local para o entendimento das especificidades do clima.

## Notas

<sup>1</sup> Fonte: INFRAERO - <www.infraero.gov.br>. Acesso em: 18 de janeiro de 2007

<sup>2</sup> Fonte: <www.emplasa.sp.gov.br>. Acesso em: 29 de julho de 2006

<sup>3</sup> Fonte: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo – <www.unica.com.br>. Acesso em: 18 de janeiro de 2007

## Bibliografia

ATKINSON, B.W.; GADD, A. *Weather – A Modern Guide to Forecasting*. [S.l]: Mitchell Beazley Publishers, 1986, 160 p.

BLANCO, C.M.R & MASSAMBANI, O. *Processos de Intensificação Orográfica da Precipitação na Serra do Mar em São Paulo*. Meteorologia Brasileira além do Ano 2000 - CD Rom.

CANDIDO, D.H. *Relação entre precipitação e altimetria na área entre o vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira*. Monografia de conclusão de curso, Instituto de Geociências - Unicamp, Campinas, 2003.

CANDIDO, D.H. *Inundações no município de Santa Bárbara d'Oeste, SP: condicionantes e*

*impactos*. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências - Unicamp, Campinas, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. "O estudo das mudanças no meio ambiente físico". *Geografia*, Rio Claro, v. 08, 1983. p.192-194.

CHRISTOFOLETTI, A; FEDERICI, H. *A Terra Campineira (Análise do Quadro Natural)*. Campinas: Mousinho, 1972, 100p.

CONTI, J.B. *A Intensidade do Efeito Orográfico sobre as Precipitações na Região do Puy-de-Dome (França)*. Boletim Paulista de Geografia, n 44, 1967. p. 15-38 .

CONTI, J.B. *Circulação secundária e efeitos*

*orográficos na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista.*, Tese (Doutorado), Série Teses e Monografias, IGEOG-USP 18, 82 p. São Paulo: 1975.

CONTI, J.B. *A Geografia Física e as Relações Sociedade/Natureza no Mundo Tropical*. São Paulo: Humanitas, 1997, 35p.

DEMILLO, R. *Como Funciona o Clima*. São Paulo: Quark Books, 1998, 226p.

EBERT, H.D; BUENO, J.M.R. *Modelo Digital de Terreno e Geológico da Folha de Rio Claro (1:50.000)*. Geociências, v. 17, n. 2, 1998. p. 469-486.

KOEPPEN, W. *Climatologia*. 1ª Edição em Espanhol. México: Fondo de Cultura Economica, 1948, 479p.

LOMBARDO, M.A. *Ilha de calor nas metrópoles*. São Paulo: Hucitec, 1985, 244p.

LUTGENS, F.K; TARBUCK, E. J. *The Atmosphere - An Introduction to Meteorology*. 17<sup>th</sup> Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1998, 450p.

MONTEIRO, C.A. de F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo (estudo geográfico sobre a forma de Atlas)*. São Paulo: IGEOG-USP, 1973, 130p.

MONTEIRO, C.A. de F. *O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas*. São Paulo: IGEOG-USP, 1976, 53p.

NASCIMENTO, C.M; PEREIRA, M.A.M.G. *Atlas Climatológico do Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação Cargil, 1988, 93p.

NERY, J.T; THOMAZ, S.L; FRANÇA, V. "Caracterización de la precipitación del estado de San Pablo". *Atmosfera*, Universidad Autónoma de Mexico, v.11, n.3, 1998. p. 125-141.

NUNES, L.H. *Impacto Pluvial na Serra de Paranapiacaba e Baixada Santista*. Dissertação (mestrado). FFLCH-Universidade de São Paulo: São Paulo, 1990.

NUNES, L.H. *Relação entre precipitação anual e altimetria no Estado de São Paulo*. V SIMPÓSIO

DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, São Paulo: FFLCH/USP, 1993, p.407-413.

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

OLIVEIRA, R.O; HACK, L.P; RIBEIRO, V.F. *Influência Do Relevo Na Distribuição Da Pluviosidade Na Ilha Grande, RJ*. In IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.

OLIVER, J.E & HIDORE, J.J. *Climatology – an atmospheric science*. New Jersey: Prentice Hall, 2002, 410p.

PEDRO JÚNIOR, M.J; BRUNINI, O; ALFONSI, R.R; ANGELOCCI, L.R. Estimativa de Graus-Dia em Função de Altitude e Latitude para o Estado de São Paulo *Bragantia*, Campinas, v.36, n.5, 1977, p. 89-92.

PINTO, H.S; ZULLO, JR. J.; ZULLO, S.A. *Oscilações pluviométricas temporais no Estado de São Paulo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Maceió: Maceió ed, 1989.

PUVANESWARAN, K.M.; SMITHSON, P.A. "Precipitation – Elevation Relationships over Sri Lanka". In: *Theoretical and Applied Climatology*, Austria: Springer-Verlag, 1991.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Volume 1. São Paulo: FFLCH/USP, 1997.

SALVI, L.L. "Tipologia climática no Estado de São Paulo segundo técnicas de quantificação". *Rev. do Departamento de Geografia*, n. 3, 1984. p.37-61.

SANT'ANNA NETO, J. L. *As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica*. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo: 1995.

SANTOS, M.J.Z. "Mudanças Climáticas no Estado de São Paulo". *Geografia*, Rio Claro, v.21, n.2,

1996. p.111-171.

SCHROEDER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.15, n.18, 1956, p. 192-249.

SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS /DAEE /CTH *Atlas pluviométrico do estado de São Paulo*. São Paulo, 1972, 17p.

SETZER, J. A distribuição normal das chuvas no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 8, n.1, 1946, p. 3-26.

SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do estado*

*de São Paulo*. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí, 1966.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2000, 943p.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: UFV, 1991, 449p.

ZABOT, C. *As Influências Orográficas das Serras do Leste Catarinense no Episódio Pluvial Intenso do dia 11 de Dezembro de 1998* In IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.

Trabalho enviado em agosto de 2008

Trabalho aceito em setembro de 2008

