

**ANÁLISE DE MAGNITUDE-FREQUÊNCIA DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA
REGIÃO DE PARELHEIROS (SÃO PAULO-SP)**

André Henrique Bezerra dos Santos
Universidade de São Paulo – USP
andresantos@usp.br

EIXO TEMÁTICO : RISCOS, SOCIEDADE E FENÔMENOS DA NATUREZA

RESUMO

Analisa-se a variabilidade espacial do Índice de Magnitude-Frequência dos eventos pluviométricos de uma área localizada entre as cidades de São Paulo-SP e Praia Grande-SP e suas relações com a presença da escarpa da Serra do Mar, segundo método proposto por Ahnert (1987). Dados publicados pelo DAEE foram utilizados para gerar séries diárias de precipitações entre 1979 e 1984 em 22 postos pluviométricos da região, a partir dos quais foram obtidos os valores de Y e A (Y = intervalo de recorrência em 1 ano; Y+A = intervalo de recorrência em 10 anos) que compõem o Índice de Magnitude-Frequência. Foram observados valores mais elevados de Y e de A nas proximidades da escarpa, sugerindo processos geomórficos mais intensos nessas áreas em decorrência de maiores precipitações.

PALAVRAS-CHAVE:

Índice de Magnitude-Frequência; eventos pluviométricos; Serra do Mar

ABSTRACT

This work analyzes the spatial variability of magnitude frequency index of rainfall events on an area located between the cities of São Paulo-SP and Praia Grande-SP and its relations with the presence of the Serra do Mar escarpment, according to the method proposed by Ahnert (1987). The data published by DAEE were used to generate daily rainfall series between 1979 and 1984 in 22 rainfall stations, from which were obtained the values of Y and A (Y recurrence interval on 1 year; YA range of recurrence in 10 years) that comprise the index of Magnitude-frequency. We observed higher values of Y and A nearby the escarpment, suggesting more intense geomorphic processes in these areas as a result of higher rainfall.

KEYWORDS:

Magnitude Frequency Index; rainfall events; Serra do Mar

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade espacial do Índice de Magnitude-Frequência dos eventos pluviométricos na região de Parelheiros, no extremo meridional do município de São Paulo. O Índice tem relevância à geomorfologia, uma vez que eventos pluviométricos contribuem para a ocorrência de processos geomórficos (CROZIER, 1999).

Aplica-se o método proposto por Ahnert (1987) para a obtenção do Índice de Magnitude-Frequência, que se baseia em procedimentos similares aos métodos usuais de análise de magnitude e frequência, com a distinção de não se utilizar de médias ou máximos anuais, mas dados parciais

(diários, neste caso), além da plotagem dos dados em um gráfico semilogarítmico com o uso de uma equação de regressão semilogarítmica.

A partir da análise de uma série temporal diária de no mínimo 5 anos, obtém-se os valores das magnitudes de eventos com intervalo de retorno de 1 ano, 10 anos e 100 anos. A obtenção de tais valores é relevante tanto para compreender a ocorrência dos eventos extremos quanto dos eventos mais significativos (aqueles que têm maior resultante magnitude x frequência).

Interessa ao planejamento público o conhecimento sobre a magnitude e a frequência de eventos pluviométricos, pois os mesmos podem gerar desastres às sociedades como inundações e movimentos de massa. Em São Paulo, há inúmeros casos de ambos os eventos desastrosos, causados pela relação “inadequada” entre a sociedade e a natureza (ROSS, 2001), inadequada pois a construção da cidade não ocorreu seguindo um ordenamento territorial que considerasse os efeitos das grandes precipitações que atingem a cidade, principalmente durante o verão.

A área examinada pertence ao setor meridional da Região Metropolitana de São Paulo, onde se encontram as Represas Billings e Guarapiranga, bairros periféricos estabelecidos majoritariamente em terrenos cristalinos e duas importantes vias de acesso do litoral à capital e ao interior do Estado de São Paulo: as rodovias Anchieta e Imigrantes (Fig. 1).

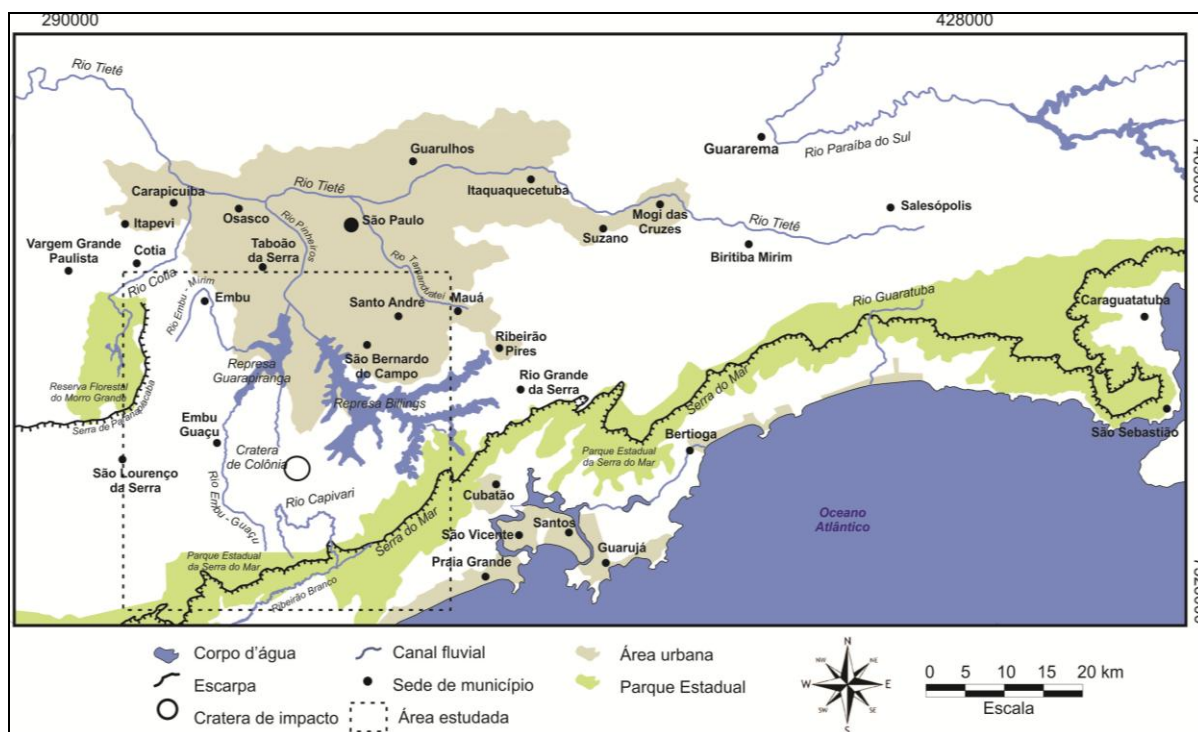


Fig. 1. Localização da área de estudo. Fontes: MIRANDA, E. E. de (Coord). Brasil em Relevo. Embrapa, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em 5 de maio de 2010. Sistema de Coordenadas UTM, SAD 69, Fuso 23. Elaborado por Santos, A.H.B., 2010.

A geologia da região se caracteriza pela predominância de rochas metassedimentares pré-cambrianas (principalmente xistos e gnaisses), bastante fraturadas e falhadas, parcialmente recobertas por unidades sedimentares terciárias relacionadas com a máxima extensão da Bacia de São Paulo (AB'SÁBER, 1957) e sedimentos quaternários em fundos de vales.

Neste contexto geológico, desenvolve-se um relevo de morros baixos a altos, pertencentes à unidade geomorfológica denominada Planalto Paulistano por Almeida (1964), alinhados principalmente na direção ENE, conforme as estruturas da região. Encontra-se aí uma feição de provável origem por impacto meteorítico, a Cratera de Colônia, cujas relações com a geomorfologia da área são estudadas por Santos e Oliveira (2010).

A compreensão do modelado do relevo depende da atuação dos processos geomórficos comandados pelo clima que interagem com os fatores lito-estruturais para formar a geomorfia existente. Nesta área do Sudeste Brasileiro, observa-se um Clima Tropical de Altitude que, segundo Nimer (1978), tem como fatores: a posição latitudinal próxima ao Trópico de Capricórnio, a proximidade do Oceano Atlântico e os sistemas regionais de circulação atmosférica.

À escala local, ocupam a região de Parelheiros, no município de São Paulo, duas unidades climáticas “naturais”: o Clima Tropical Sub-oceânico Super-úmido do Reverso do Planalto Atlântico, a Norte, e o Clima Tropical Oceânico Super-úmido da Fachada Oriental do Planalto Atlântico, a Sul (Fig. 2). Definidas por Tarifa & Armani, (2002), constituem as áreas de maior umidade e pluviosidade do município de São Paulo. A primeira apresenta temperaturas médias anuais máximas entre 24,9°C e 25,2°C e mínimas entre 15,3°C e 15,8°C, totais pluviométricos anuais entre 1.400 mm e 1.800 mm. A segunda unidade apresenta temperaturas médias anuais máximas entre 24,9°C e 28°C e mínimas entre 15,3°C e 18°C e totais pluviométricos anuais entre 1.600 e 2.210 mm.

Ribeiro (2003) ressalta a importância do fator relevo na circulação atmosférica local, já que a escarpa da Serra do Mar interfere na dinâmica de avanços e recuos de frentes, bem como da brisa marítima. Trata-se de uma das áreas de maior pluviosidade do país, com chuvas concentradas no verão.

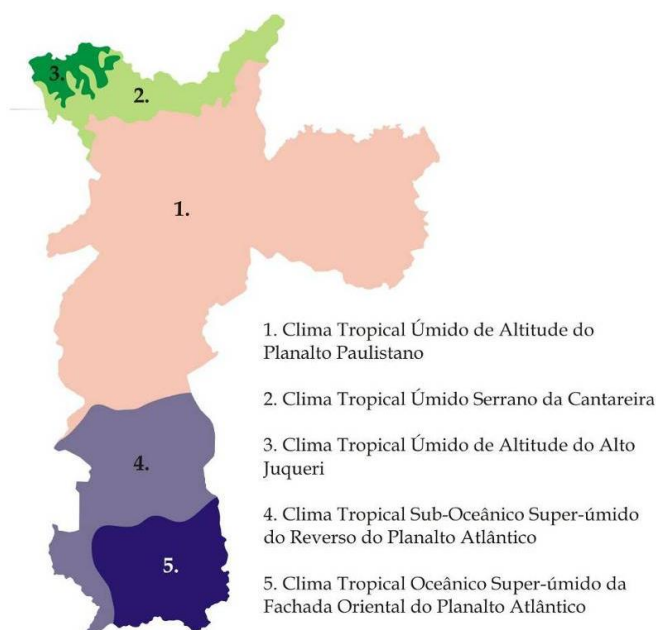


Fig. 2. Climas naturais no Município de São Paulo. Destaque para as unidades 4 e 5, presentes na área de estudo. Fonte: Tarifa e Armani, 2002. Adaptado por Santos, A.H.B., 2011.

MATERIAL E MÉTODOS

A aplicação do método para obtenção de índices de magnitude-frequência de eventos pluviométricos proposto por Ahnert (1987) se realizou a partir de dados disponíveis no sítio do DAEE na Internet. Foram selecionados 22 postos pluviométricos da região de Parelheiros e entorno (*ver* Mapa 1 e Mapa 2) com a finalidade de se espacializar a análise do fenômeno.

Trabalhou-se com uma série de dados diários de 6 (seis) anos, de 1979 e 1984. Justifica-se a seleção deste período por ser o único com dados disponíveis na maioria dos postos pluviométricos estudados. Mesmo assim, em três postos (Terras de Santa Rosa, Melvi e Santa Rita) foi necessário o uso de dados que extrapolam o período em dois ou três anos.

Os dados diários de chuvas foram ordenados em uma série decrescente, do dia mais chuvoso (em mm) ao menos chuvoso. Conforme Ahnert (*op cit*), ao valor mais elevado foi assinalado o *rank* = 1, ao segundo valor, o *rank* = 2, e assim por diante, conforme a equação abaixo:

$$RI = (N + 1) \cdot rank^{-1} \quad (1)$$

onde RI = intervalo de recorrência e N = número de unidades de tempo do registro (no caso, anos). Os dados são plotados enquanto uma função do logaritmo do intervalo de recorrência, da qual se obtém a equação de regressão:

$$P_{24} = Y + A \log_{10} RI_y \quad (2)$$

onde P_{24} é a precipitação diária e R_y é o intervalo de recorrência expresso em anos.

Neste trabalho, a equação de regressão foi obtida com uso de um gerenciador de planilhas, que a retorna na forma:

$$p = p_1 + p_0 \ln x \quad (3)$$

O valor de p_1 corresponde a Y da Equação 2. Já o logaritmo natural $\ln x$ deve ser transformado para $\log_{10} x$, de modo que p_0 corresponda a A da Equação 2. Para tanto, utilizou-se a equação abaixo, exposta por De Ploey *et al* (1991):

$$p_0 = A \log_{10} e \quad (4)$$

Segundo Ahnert (1987), a constante Y da equação 2 equivale à magnitude do evento pluviométrico P_{24} que tem intervalo de recorrência $RI_y = 1$ ano. A soma $Y+A$ fornece o valor da magnitude do evento pluviométrico P_{24} com intervalo de recorrência $RI_y = 10$ anos. Por fim, a soma $Y + 2A$ é igual à magnitude do evento pluviométrico P_{24} com intervalo de recorrência $RI_y = 100$ anos.

Com a série de dados, ainda se elaborou um gráfico para cada um dos 22 postos, cujo eixo X (intervalo de recorrência) é representado em escala logarítmica, diferentemente do eixo Y (magnitude, em mm), representado em escala linear. Os gráficos das diferentes localidades são comparados para se observar a variabilidade da magnitude de eventos com intervalos de recorrência correspondentes.

Os dados obtidos em cada ponto foram utilizados para a geração de uma carta, por meio de um SIG, com uso do *software* Ilwis versão 3.4. Os valores dos pontos correspondentes aos postos pluviométricos foram interpolados pela técnica da Krigagem Simples, uma técnica estatística de estimação que tem por característica o aproveitamento máximo dos dados amostrais e adaptação às suas limitações (Bettini, 2007). O tipo de interpolação adotado justifica-se pela natureza estatística dos dados e pela necessidade de extrapolação dos dados para as áreas adjacente.

A carta foi plotada sobre um Modelo Digital de Elevação a partir da interpolação de dados SRTM, obtidos no sítio da Embrapa Solos na Internet. Com a sobreposição de ambos, é possível avaliar diretamente a interação entre o relevo e o regime de chuvas da região.

RESULTADOS

A partir das técnicas e dos critérios acima expostos, aplicados aos dados referentes à área de estudo, obtêm-se resultados que definem a distribuição do Índice de Magnitude-Frequência na região

de Parelheiros. Dos 22 gráficos elaborados, selecionaram-se três para apresentação neste trabalho (Gráficos 1 a 3), das localidades de Banaurea (mais próximo à Serra do Mar), Parelheiros (no centro da área) e Santo Amaro (ao norte, na área urbana de São Paulo). Os índices obtidos a partir da elaboração dos 22 gráficos encontram-se na tabela 1.

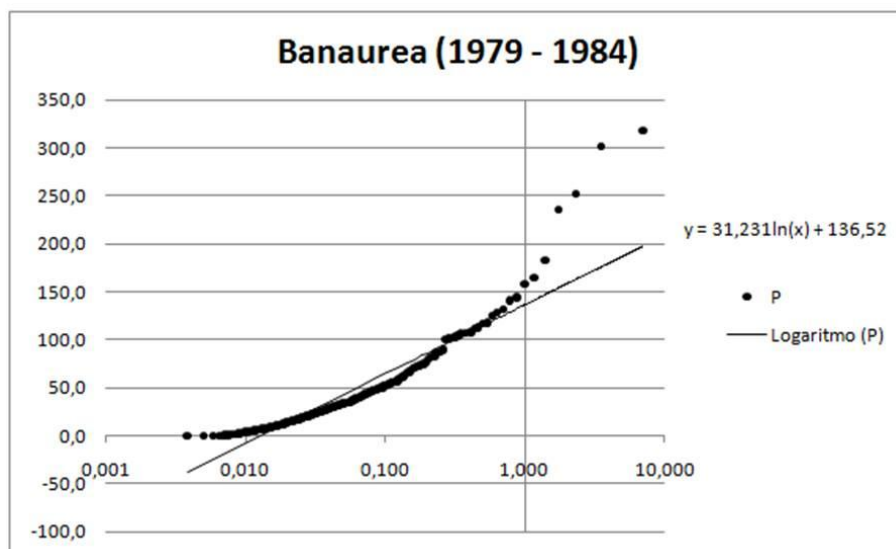


Gráfico 1. Estimativa de Magnitude-Frequência das chuvas no posto Banaurea, município de Itanhaém-SP (Fonte: DAEE, 2011).

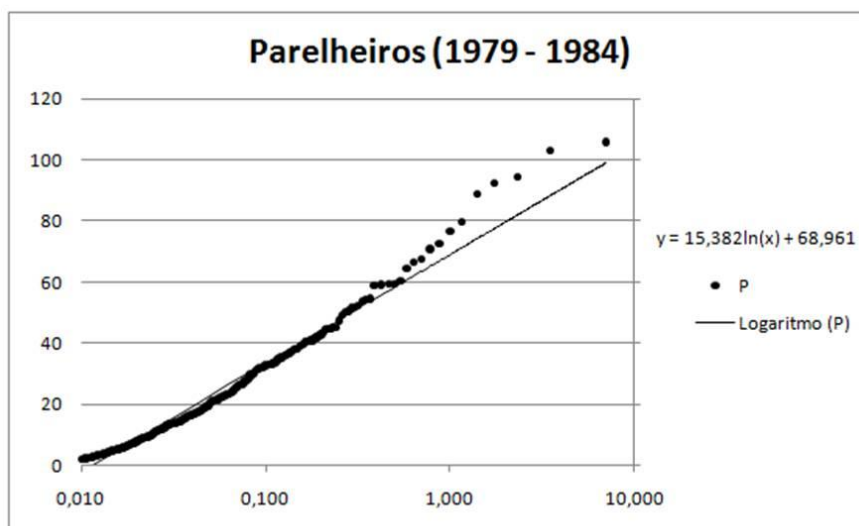


Gráfico 2. Estimativa de Magnitude-Frequência das chuvas no posto Parelheiros, município de São Paulo-SP (Fonte: DAEE, 2011).

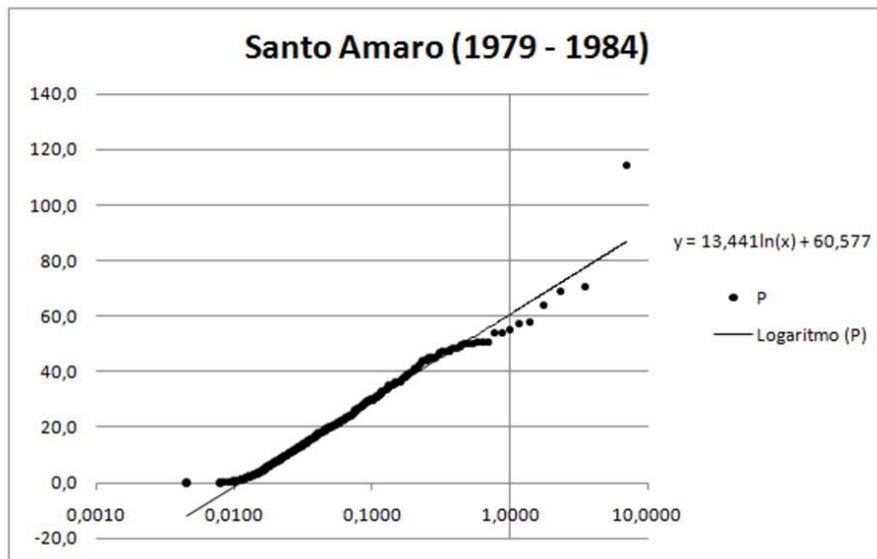


Gráfico 3. Estimativa de Magnitude-Frequência das chuvas no posto Rodovia Santo Amaro, município de São Paulo-SP (Fonte: DAEE, 2011).

Os índices Y e A, obtidos a partir das equações de regressão semilogarítmica naturais transformadas em equações de regressão semilogarítmica de base 10, para cada um dos postos pluviométricos da área, foram organizados na Tabela 1, apresentada a seguir. A Tabela serviu de subsídio para a elaboração dos Mapas 1 e 2, apresentados na sequência.

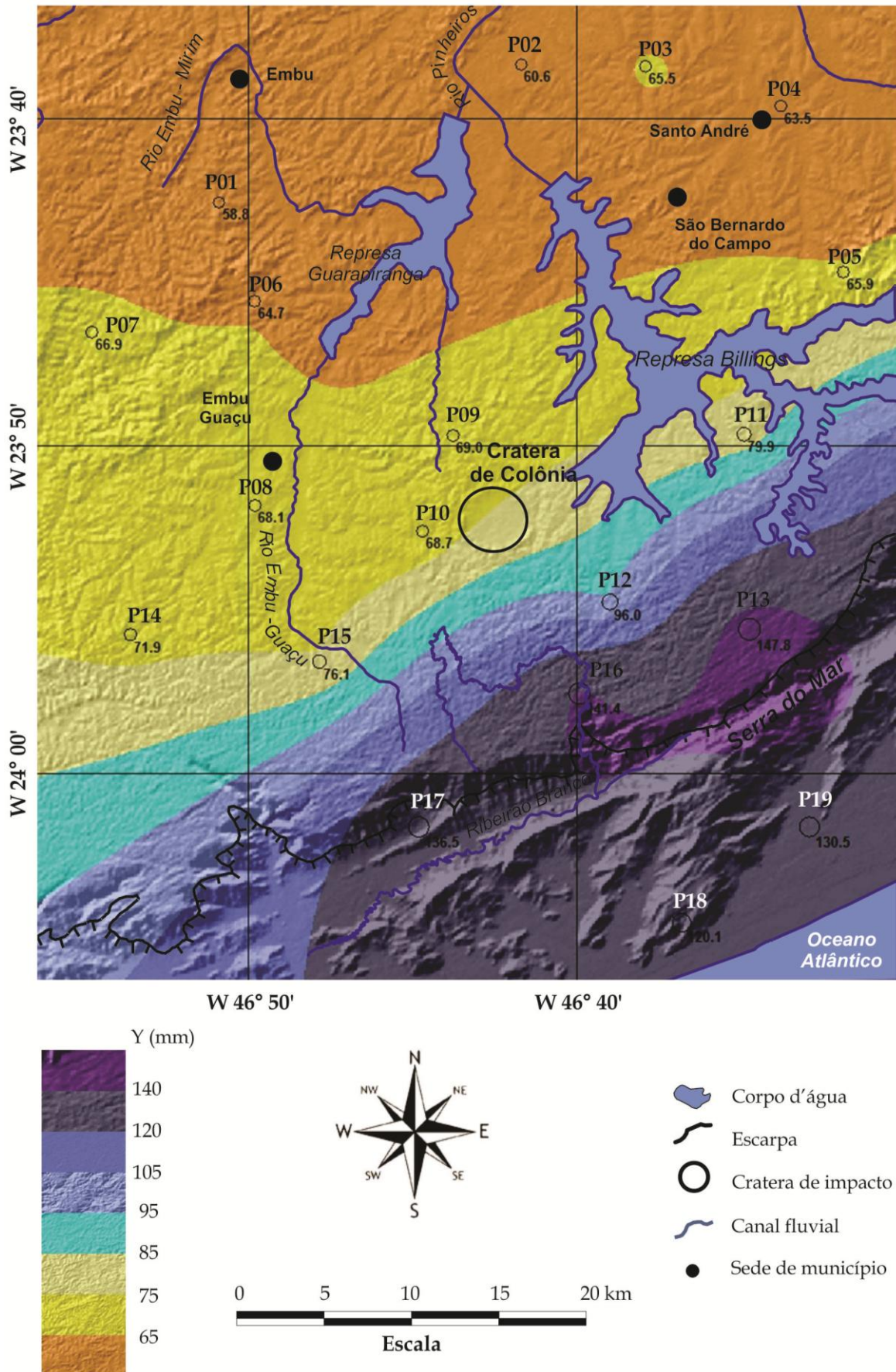
Observa-se, nos gráficos apresentados, que os eventos de média magnitude se acomodam de modo bastante satisfatório ao longo da linha de tendência. Já os valores dos eventos de maior valor divergem da linha de tendência obtida para cima. Em alguns pontos, como nos postos de Alto da Serra, Banaurea, Mongaguá e Recalque ABC eventos unitários, geralmente entre os três primeiros do ranking, divergem fortemente da linha de tendência, o que sugere que a extrapolação para maiores prazos fornece valores subestimados.

Índices Y e A dos Postos Pluviométricos da Região de Parelheiros							
Ponto	Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	ln(x)		log ₁₀ (x)	
				p_1	p_0	Y	A
P01	Itapecerica	S 23°43'	W 46°51'	58,8	13,1	58,8	30,2
P02	Santo Amaro	S 23°39'	W 46°42'	60,6	13,4	60,6	30,9
P03	Observatório IAG	S 23°39'	W 46°38'	65,5	14,7	65,5	33,8
P04	Rudge Ramos	S 23°40'	W 46°34'	63,5	14,8	63,5	34,0

P05	Recalque ABC	S 23°45'	W 46°32'	65,9	14,8	65,9	34,2
P06	Mombaça	S 23°46'	W 46°50'	64,7	14,5	64,7	33,3
P07	Aldeinha	S 23°47'	W 46°55'	66,9	14,7	66,9	34,0
P08	Paulistinha	S 23°52'	W 46°50'	68,1	15,3	68,1	35,2
P09	Parelheiros	S 23°50'	W 46°44'	69,0	15,4	69,0	35,4
P10	Embura	S 23°53'	W 46°45'	68,7	15,2	68,7	35,0
P11	Rio Acima	S 23°50'	W 46°35'	79,9	18,1	79,9	41,6
P12	Evangelista	S 23°55'	W 46°39'	96,0	21,4	96,0	49,4
P13	Imigrantes	S 23°56'	W 46°35'	147,8	32,6	147,8	75,1
P14	Santa Rita	S 23°56'	W 46°54'	71,9	15,5	71,9	35,7
P15	Terras de Santa Rosa	S 23°54'	W 46°48'	76,1	16,8	76,1	38,6
P16	Usina Rio dos Campos	S 23°58'	W 46°40'	141,4	31,7	141,4	73,0
P17	Banaurea	S 24°02'	W 46°45'	136,5	31,2	136,5	71,9
P18	Mongaguá	S 24°05'	W 46°37'	120,1	27,5	120,1	63,4
P19	Melvi	S 24°02'	W 46°33'	130,5	29,6	130,5	68,1
P20	Diadema	S 23°42'	W 46°36'	60,5	13,5	60,5	31,0
P21	Rodovia Anchieta Cota 400	S 23°53'	W 46°29'	119,7	25,9	119,7	59,6
P22	Alto da Serra	S 23°51'	W 46°30'	118,5	26,2	118,5	60,4

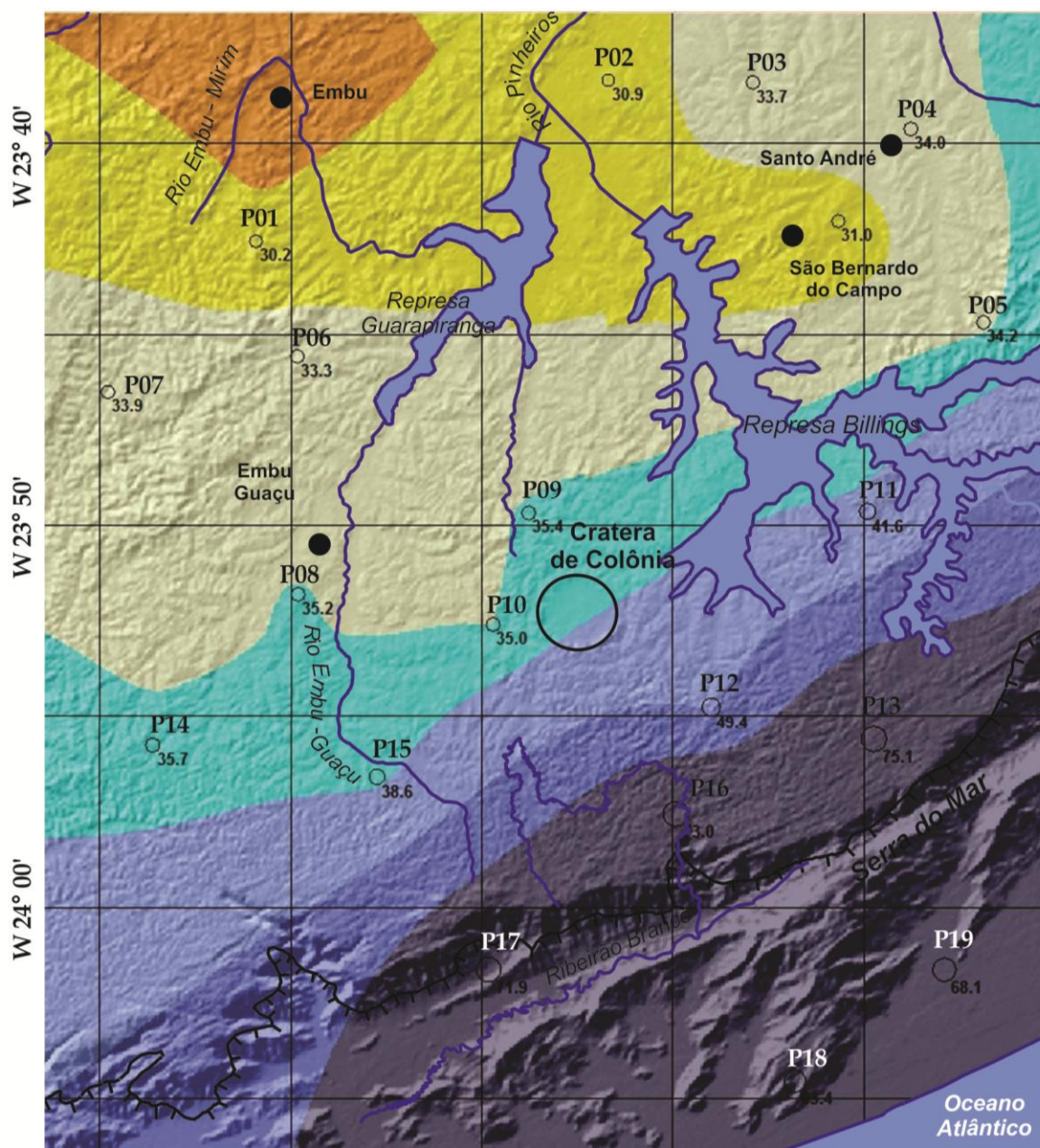
Tabela 1. Sumário dos dados obtidos a partir da análise de magnitude e frequência de eventos pluviométricos na região de Parelheiros. Na primeira coluna, a sigla de cada ponto correspondente nos Mapas 1 e 2, seguida dos respectivos nomes na segunda coluna. Na terceira e quarta colunas, as coordenadas geográficas de cada ponto, conforme o DAEE (2010). Na quinta e sexta colunas, os valores de p_1 e p_0 , da equação $p = p_1 + p_0 \ln x$. Na sétima e oitava colunas, os valores de Y e A , da equação $P_{24} = Y + A \log_{10} RI_y$. Elaborada por Santos, A.H.B., 2011.

ANÁLISE DE MAGNITUDE-FREQUÊNCIA DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO DE PARELHEIROS
(SÃO PAULO-SP)



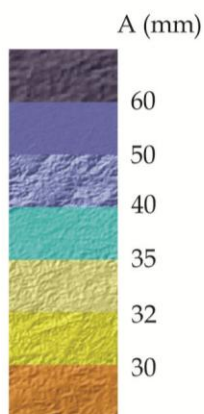
Mapa 1. Carta de isovalores da constante Y da equação de estimativa da magnitude-frequência das precipitações na região de Parelheiros, São Paulo-SP. Elaborada por Santos, A.H.B., 2011.

ANÁLISE DE MAGNITUDE-FREQUÊNCIA DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO DE PARELHEIROS
(SÃO PAULO-SP)



W 46° 50'

W 46° 40'



Escala

- Corpo d'água
- Escarpa
- Cratera de impacto
- Canal fluvial
- Sede de município

Mapa 2. Carta de isovalores da constante A da equação de estimativa da magnitude-frequência das precipitações na região de Parelheiros, São Paulo-SP. Elaborada por Santos, A.H.B., 2011.

Apesar de possivelmente subestimados estatisticamente, os valores de Y e A obtidos na região de Parelheiros são bastante elevados, se comparados com os obtidos por Ahnert (1987) em áreas temperadas da França (64,2; 36,5 em Chateauf-neuf-les-Bains) e da Alemanha (29,6; 17,9 em Aachen) e mesmo em áreas tropicais do Quênia (64,2; 36,5, em Machakos). Considerando-se o objetivo do autor de caracterizar morfoclimas, é relevante relembrar a ideia divulgada por Büdel (1982) de que os processos erosivos em climas temperados são muito lentos se comparados aos ocorridos em climas tropicais, sendo este o motivo do fato de que a grande maioria das paisagens em climas temperados constituem heranças de períodos com paleoclimas mais vigorosos geomorfologicamente.

Quanto à variabilidade espacial dos índices Y e A, nota-se que ambos possuem maiores valores nas proximidades da escarpa da Serra do Mar. Isto sugere, evidentemente, influência topográfica da escarpa, além da influência da proximidade com o Oceano Atlântico. A escarpa, ao atuar como uma barreira à circulação local da atmosfera, promove, nas áreas próximas, eventos chuvosos mais intensos. Ela também atua na retenção da umidade próxima ao litoral, levando a índices menores na área urbana de São Paulo, a sotavento da escarpa, comparáveis às das localidades exemplificadas por Ahnert (*op cit*).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de magnitude-frequência dos eventos pluviométricos aplicada à região de Parelheiros revela altos valores de Y e de A, indicando frequência elevada de eventos chuvosos intensos, especialmente nas proximidades da escarpa da Serra do Mar. Tal proximidade sugere influência decisiva da escarpa na distribuição do Índice pela região. Esses eventos seriam indutores da ocorrência de inundações e escorregamentos que só não causam maiores danos por estar a região mais próxima da Serra do Mar praticamente desabitada.

A inadequabilidade à ocupação da região ao sul do posto pluviométrico de Parelheiros, decorrente do quadro geomorfológico de morros e colinas de altas declividades, é intensificado, portanto, pelo quadro climático, conforme demonstrado pela análise de magnitude-frequência.

AGRADECIMENTOS

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de Mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A.N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. São Paulo, 1957, 335f. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
- Almeida, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, v. 41, p. 167-263, 1964.
- Ahnert, F. **An Approach to the Identification of Morphoclimates, in Gardner**. V. International Geomorphology, p. 159-188, 1987.
- Bettini, C. **Conceitos Básicos de Geoestatística**. In: Meirelles, M. S. P.; Camara, G.; Almeida, C.M. (eds.) **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.
- Budel, J. **Climatic Geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982.
- Crozier, M. **The Frequency and Magnitude of Geomorphic Processes and Landform Behaviour**, Z. Geomorphology N.F. Suppl.-Bd, v. 16, p. 35-50, 1999.
- DAEE – **Departamento de Águas e Energia Elétrica (Estado de São Paulo)**. Portal DAEE. Disponível em: < <http://www.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em 1 dez. 2010.
- De Ploey, J.; Kirkby, M. J.; Ahnert, F. **Hillslope Erosion by Rainstorms – A Magnitude-Frequency Analysis**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 16, p. 399-409, 1991.
- Nimer, E. Clima. In: **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977, p. 47-84.
- Ribeiro, R.R. **Evolução geomorfológica da Serra de Cubatão, em São Paulo**. São Paulo, 2003. 122 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Ross, J. L. S. **Inundações e deslizamentos em São Paulo: riscos da relação inadequada sociedade-natureza**. Revista Territorium, p. 15-23, 2001.
- Santos, A.H.B. dos; Oliveira, D. de. **A influência de um impacto meteorítico na evolução da rede de drenagem no setor meridional do Planalto Paulista-SP**. VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010, Recife. Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife : Editora da UFPE, 2010. v. 1. p. 191-206.
- Tarifa, J.R.; Armani, G. **Unidades climáticas naturais**. In: Tarifa, J.R.; Azevedo, T.R. (orgs.) Os climas na cidade de São Paulo. São Paulo: FFLCH-USP, 2001.