

# METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM SÃO LUÍS DO PARAITINGA - SP

*Vanesca Sartorelli Medeiros<sup>1\*</sup> e Mario Thadeu Leme de Barros<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- As chuvas ocorridas em janeiro de 2010 no Alto Vale do Paraíba foram responsáveis pela maior inundação observada em São Luís do Paraitinga. De acordo com dados do AVADAN, o relatório de avaliação de danos do SINDEC – Sistema Nacional da Defesa Civil - cerca de 11.000 pessoas foram afetadas pelo desastre. O centro histórico do município ficou completamente inundado. A Igreja da Matriz desabou. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de classificação das chuvas máximas de São Luís do Paraitinga e Cunha, com destaque ao evento ocorrido no dia 1 de janeiro de 2010, causador de inundações e escorregamentos na região. A análise estatística dos dados de precipitação leva a crer que a inundação tenha sido causada pelo volume precipitado na cabeceira da bacia no dia 1 de janeiro de 2010, combinado com as chuvas acumuladas nos meses que antecedem o evento. As leituras diárias registraram chuvas de mais de 205 mm na estação Alto da Serra do Mar, localizada no município de Cunha. O trabalho pretende contribuir, apresentando estatísticas básicas destes eventos e classificando as chuvas extremas na região, dando indicativos aos profissionais que atuam na redução do risco de desastres.

**ABSTRACT** -- The rainfalls in January 2010 in the Alto Vale do Paraíba were responsible for the largest flood seen in São Luís do Paraitinga. According to data of AVADAN, the damage assessment report of "National System of Civil Defense, about 11,000 people were affected by the disaster. The historic center of the city was completely flooded. The Matrix Church collapsed. This work aims to present a methodology for the classification of maximum rainfall of São Luís do Paraitinga and wedge, the event occurred on January 1, 2010, causing flooding and landslides in the region. Statistical analysis of precipitation data suggests that the flood was caused by precipitate at the head of the basin volume on January 1, 2010, combined with the accumulated rainfall in the months prior to the event. Daily dates recorded rainfall of more than 200 mm in the station Alto da Serra do Mar, located in the municipality of Cunha. The work aims to contribute, showing basic statistics of these events and extreme rains in sorting, giving indications to professionals who work in disaster risk reduction.

**Palavras-chave:** classificação das chuvas, chuvas extremas, inundações.

## 1 – INTRODUÇÃO

Os desastres ocorridos no Brasil nos últimos anos evidenciaram a necessidade de se tomar medidas no sentido de se construir mecanismos de prevenção, preparação e resposta aos desastres, mitigação dos riscos e aumento da resiliência nas comunidades e nos sistemas sujeitos à ocorrência de desastres naturais.

No Brasil, os desastres naturais mais comuns são as inundações e escorregamentos, relacionados aos eventos críticos de precipitação. A precipitação atua como o evento adverso que,

---

<sup>1</sup> Pesquisadora em Geociências, Engenheira da CPRM e Msc da EPUSP. E-mail: vanesca.medeiros@cprm.gov.br

<sup>2</sup> Professor Titular da Escola Politécnica da USP. E-mail: mtbarros@usp.br

atingindo uma área ou comunidade vulnerável, pode provocar o desastre. Portanto, o monitoramento e o estudo da magnitude das chuvas em bacias hidrográficas suscetíveis à ocorrência de desastres naturais são importantes para caracterizar os eventos e criar mecanismos de prevenção e redução dos riscos.

Os sistemas de alerta são uma das medidas não estruturais de prevenção. Como componentes de um sistema de alerta pode-se citar o monitoramento hidrológico; a coleta, análise e tratamento de dados meteorológicos, dados de chuva e níveis dos rios; a modelagem e previsão hidrológica; a transmissão da informação via internet, através de boletins de alerta emitidos à Defesa Civil, prefeituras e órgãos ligados ao gerenciamento de desastres. Para o monitoramento do sistema é importante estimar os limiares de chuva e cotas que determinam as mudanças de estado. Estes limiares variam de acordo a intensidade e o regime de chuvas de uma região, seção dos rios, com as características fisiográficas da bacia etc.

Em janeiro de 2010, as chuvas que atingiram a Serra do Mar causaram inundações e escorregamentos nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, em municípios como Angra dos Reis e Ilha Grande (RJ) e São Luís do Paraitinga e Cunha (SP).

Tendo em vista a importância do tema, o presente trabalho tem como objetivo estudar as chuvas ocorridas na bacia do Alto Paraíba do Sul, em particular nos municípios de São Luís do Paraitinga e Cunha, suscetíveis a ocorrência destes eventos. Apresentar uma metodologia de classificação destas chuvas extremas e contribuir para o entendimento da magnitude destes eventos, dando indicativos aos profissionais que atuam no tema redução de risco de desastres.

## 2 – METODOLOGIA

### 2.1 - Área de estudo e estações pluviométricas utilizadas

Os municípios de São Luís do Paraitinga e Cunha estão localizados na bacia do Paraíba do Sul, em seu trecho paulista, denominado Alto Paraíba.

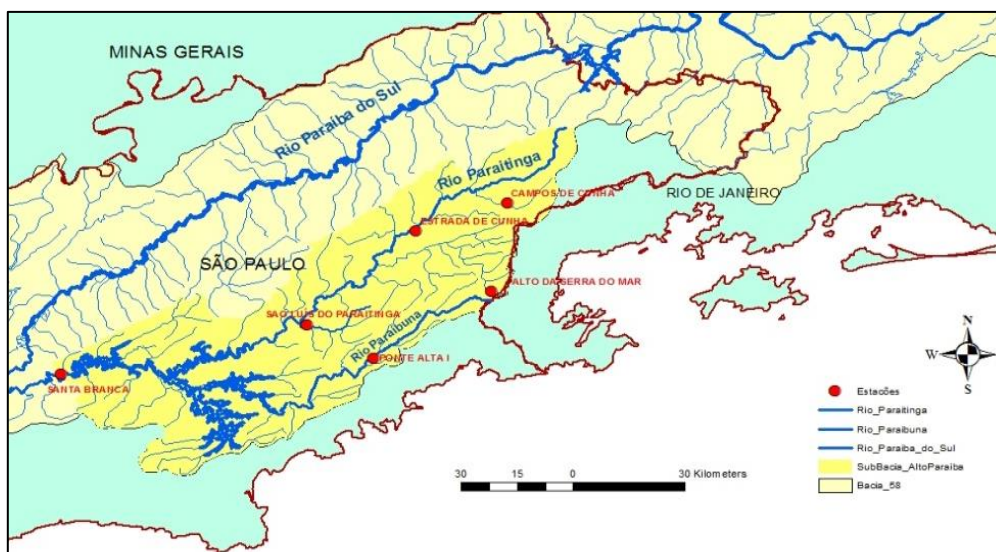


Figura 1 – Localização das estações na bacia hidrográfica do Alto Paraíba do Sul

O rio Paraíba do Sul é formado pela confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, cujas nascentes estão localizadas nos municípios de Cunha e Areias, próximos a São Luís do Paraitinga. Percorre, em toda sua extensão, os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, tendo sua foz localizada na praia de Atafona, no município de São João da Barra, no Rio de Janeiro.

A bacia do Paraíba estende-se entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, no sentido leste oeste. Possui relevo acidentado, variando desde alguns metros de altitude nas planícies litorâneas próximas à foz até altitudes superiores a 1.500 metros na Serra do Mar e 2.700 metros na Serra da Mantiqueira.

O clima do Alto Paraíba, segundo a classificação de Köppen, é o Subtropical de Altitude (Cwb), caracterizado pelos verões chuvosos e temperaturas mais brandas que nas áreas de menor altitude. O inverno é mais frio e seco.

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo, operadas pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Código	Estação	Bacia	Latitude	Longitude	Alt. (m)	Estado	Município
2244048	Campos de Cunha	58	- 22°55'16"	- 44°49'20"	750	SP	Cunha
2245055	Estrada de Cunha	58	- 22°59'45"	- 45°02'30"	790	SP	Cunha
2344009	Alto da Serra do Mar	58	- 23°09'13"	- 44°51'32"	1050	SP	Cunha
2345065	São Luís do Paraitinga	58	- 23°13'19"	- 45°19'24"	760	SP	São Luís do Paraitinga
2345067	Ponte Alta I	58	- 23°19'44"	- 45°08'38"	888	SP	São Luís do Paraitinga
2345071	Santa Branca	58	- 23°22'08"	- 45°54'00"	573	SP	Santa Branca

### 2.3 – Análises dos dados de chuva

Para entender a magnitude dos eventos, foram calculadas algumas estatísticas básicas, como a precipitação máxima de janeiro de 2010 ( $P_{\max \text{ jan/10}}$ ), o dia da máxima (Dia da max), a precipitação média das máximas ( $P_{\text{med das max}}$ ), a precipitação mensal de janeiro de 2010 ( $P_{\text{mensal jan/10}}$ ), a precipitação média mensal de janeiro ( $P_{\text{med mensal jan}}$ ) e a precipitação média anual ( $P_{\text{med anual}}$ ), que constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Chuvas de janeiro de 2010, médias das máximas e médias mensais e anuais das estações (séries históricas de dados de chuva obtidos do Hidroweb e da CPRM)

Código	Estação	Dados	$P_{\max \text{ jan/10}}$ (mm)	Dia da max	$P_{\text{med das max}}$ (mm)	$P_{\text{mensal jan/10}}$ (mm)	$P_{\text{med mensal jan}}$ (mm)	$P_{\text{med anual}}$ (mm)
2244048	Campos de Cunha	ago/67 a mai/11	165	1	70,3	408	227	1.408
2245055	Estrada de Cunha	nov/35 a mai/11	174,2	1	77,8	395	254	1.448
2344009	Alto da Serra do Mar	set/67 a fev/12	205,7	1	102,1	406	319	2.080
2345065	São Luís do Paraitinga	nov/35 a fev/11	67,4	1	66,9	331	222	1.243
2345067	Ponte Alta I	out/36 a mai/11	155,3	1	127	498	304	2.009
2345071	Santa Branca	jun/52 a mai/11	100,8	2	71,5	391	229	1.292

Em seguida foram analisados os eventos críticos de dezembro de 2009 e janeiro de 2010, quando acontece a inundação. As chuvas diárias de todas as estações foram plotadas na Figura 2.

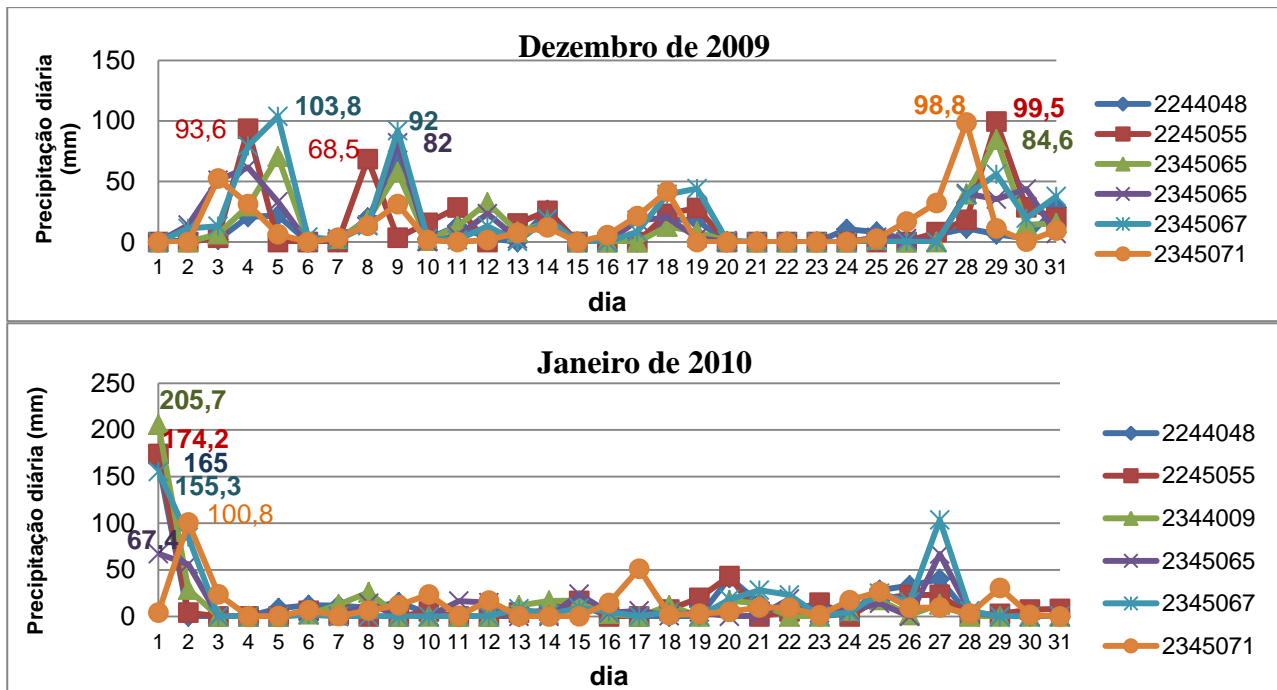


Figura 2 – Precipitação diária de dezembro de 2009 e janeiro de 2010

Nota-se que na maioria das estações as chuvas foram elevadas nos dias 1 de janeiro. Na estação São Luís do Paraitinga as chuvas não foram tão elevadas, atingindo 67,4 mm. A máxima chuva diária do ano hidrológico de 2009/2010 corresponde ao valor 82 mm, observado no dia 9 de dezembro de 2009. O mês de dezembro de 2009 também foi bastante chuvoso.

Em seguida, as séries de máximas chuvas diárias das estações analisadas foram plotadas em conjunto para caracterizar a magnitude das máximas na região de estudo.

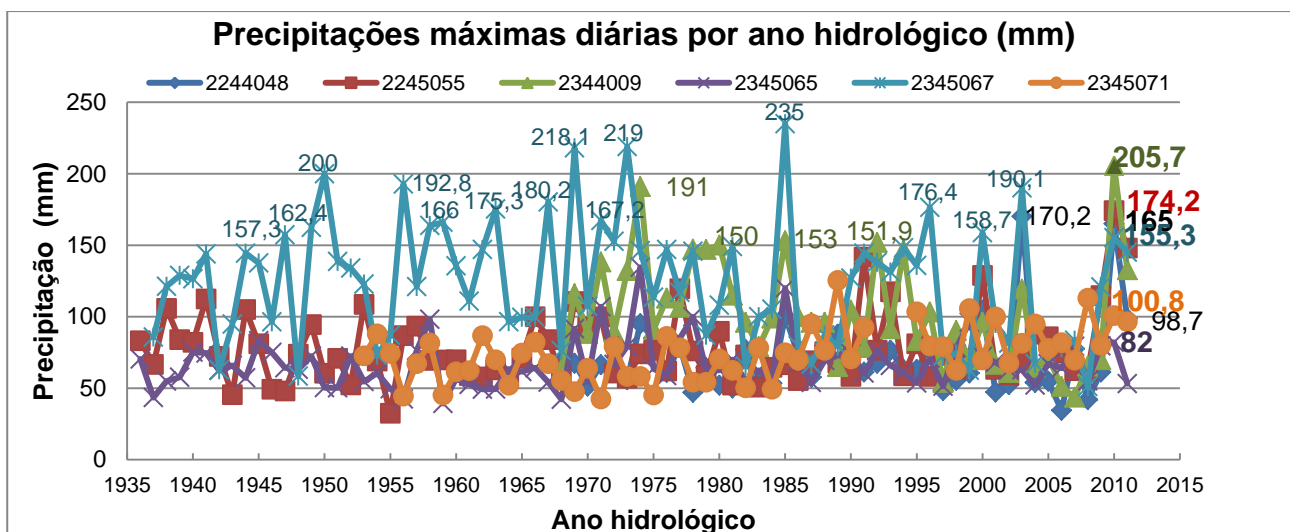


Figura 3 – Séries das precipitações máximas diárias da região

Os valores observados em 2010 foram elevados. Em Alto da Serra do Mar, a precipitação observada foi elevada, correspondendo à máxima histórica desta estação. Outros valores elevados já haviam sido observados, principalmente na estação Ponte Alta I. No ano de 1985, foi registrado 235 mm nesta estação, no ano 1973, 219 mm e, em 1969, 218,1 mm. Portanto, estes eventos são característicos da região.

## 2.4 – Ajuste da distribuição de probabilidades de Gumbel

Foi feito o ajuste da distribuição de probabilidade de Gumbel para as chuvas máximas diárias de cada estação, calculadas por ano hidrológico. As chuvas máximas foram ordenadas de forma decrescente, foi calculada a posição de plotagem através da fórmula de Cunanne, o tempo de retorno (Tr), a média e desvio-padrão da distribuição empírica e então feito o ajuste da distribuição. Os gráficos das distribuições de cada estação podem ser visualizados na Figura 4.

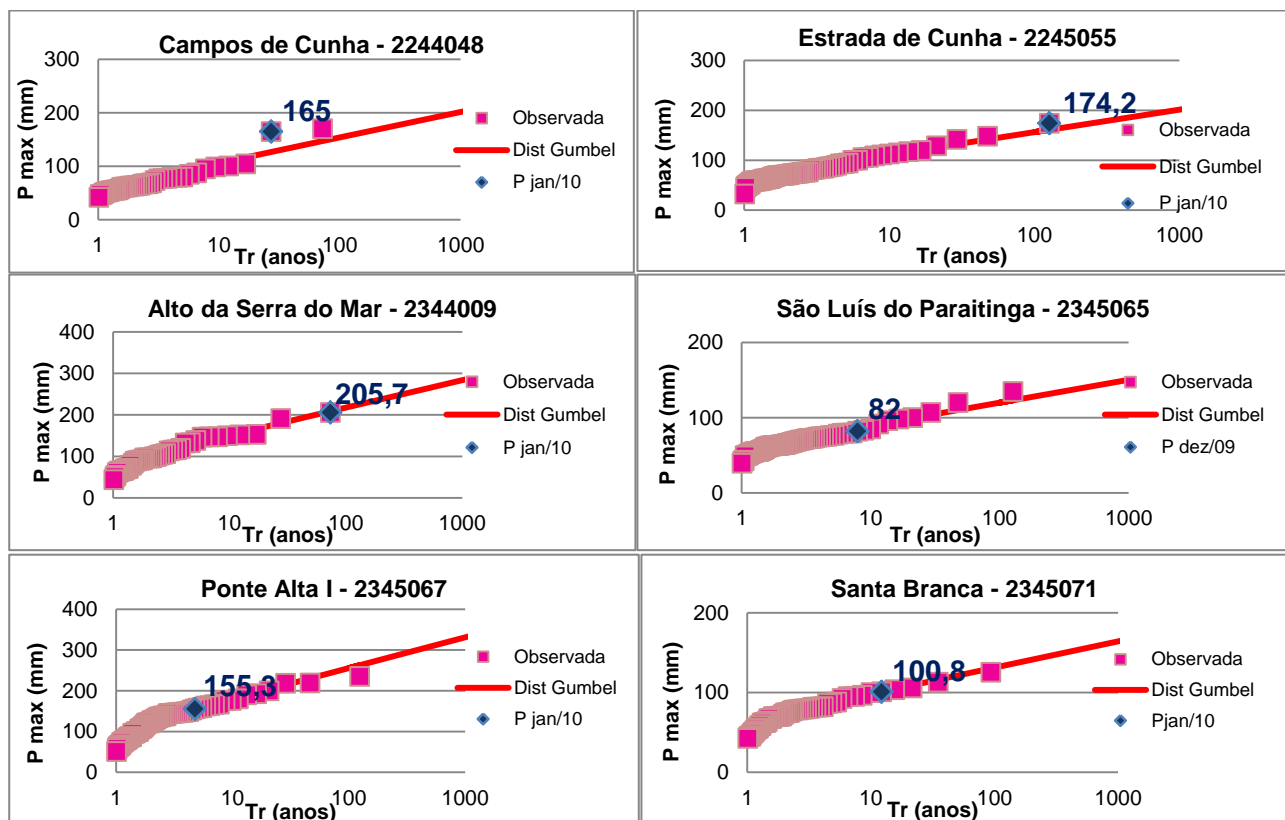


Figura 4 – Distribuição de Gumbel e Empírica

Nota-se que a precipitação de janeiro de 2010 foi a máxima registrada em duas das seis estações: Alto da Serra do Mar e Estrada de Cunha, com Trs variando de 74 a 127 anos. Em Campos de Cunha a chuva foi elevada, 165 mm, com Tr de 27 anos. Nos demais postos os Trs variam de 5 a 12 anos.

## 2.5 – Classificação das chuvas através do SPI

As chuvas foram classificadas através do SPI – Standard Precipitation Index, ou Índice de precipitação padronizada, utilizado por McKee em 1993 para a classificação das secas nos Estados Unidos. O índice foi adaptado por Santos et al. (2013) para classificar as chuvas.

De acordo com Santos et al. (2013), seu cálculo é baseado nas probabilidades de superação de um determinado volume precipitado acumulado. A série de dados, resultantes do somatório das precipitações ao longo da duração desejada, é em seguida ajustada a uma distribuição de probabilidades. Na formulação original, McKee utilizou Gama. Neste trabalho, foi utilizado o intervalo diário e a distribuição adotada foi a Gumbel. A partir do SPI, determina-se os limiares para a classificação das chuvas, estes associados à probabilidade de não superação. Cinco intervalos de classes são considerados, associados aos índices **SPI**, aos intervalos de probabilidade inferior (**p inf.**) e superior (**p sup.**) e aos períodos de retorno (**Tr**) como mostra a Tabela 3:

Tabela 3 – Classes de precipitações diárias máximas anuais (adaptado de Weschenfelder et al., 2011)

Classe de chuva	SPI		p inf.	p sup.	Tr (anos)
Chuva Fraca (CF)		0		0,500	$\leq 2$
Chuva Leve (CL)	0	1	0,500	0,841	$2 < T \leq 6,3$
Chuva Moderada (CM)	1	1,5	0,841	0,933	$6,3 < T \leq 15$
Chuva Severa (CS)	1,5	2	0,933	0,977	$15 < T \leq 44$
Chuva Extrema (CE)	2		0,977		$> 44$

Na Figura 5, estão os limiares estimados para cada estação à direita de cada gráfico e suas linhas correspondentes para a mudança de classe de chuva (pontilhadas e sublinhadas) e os valores das chuvas máximas do ano hidrológico 2009/2010 (em azul).

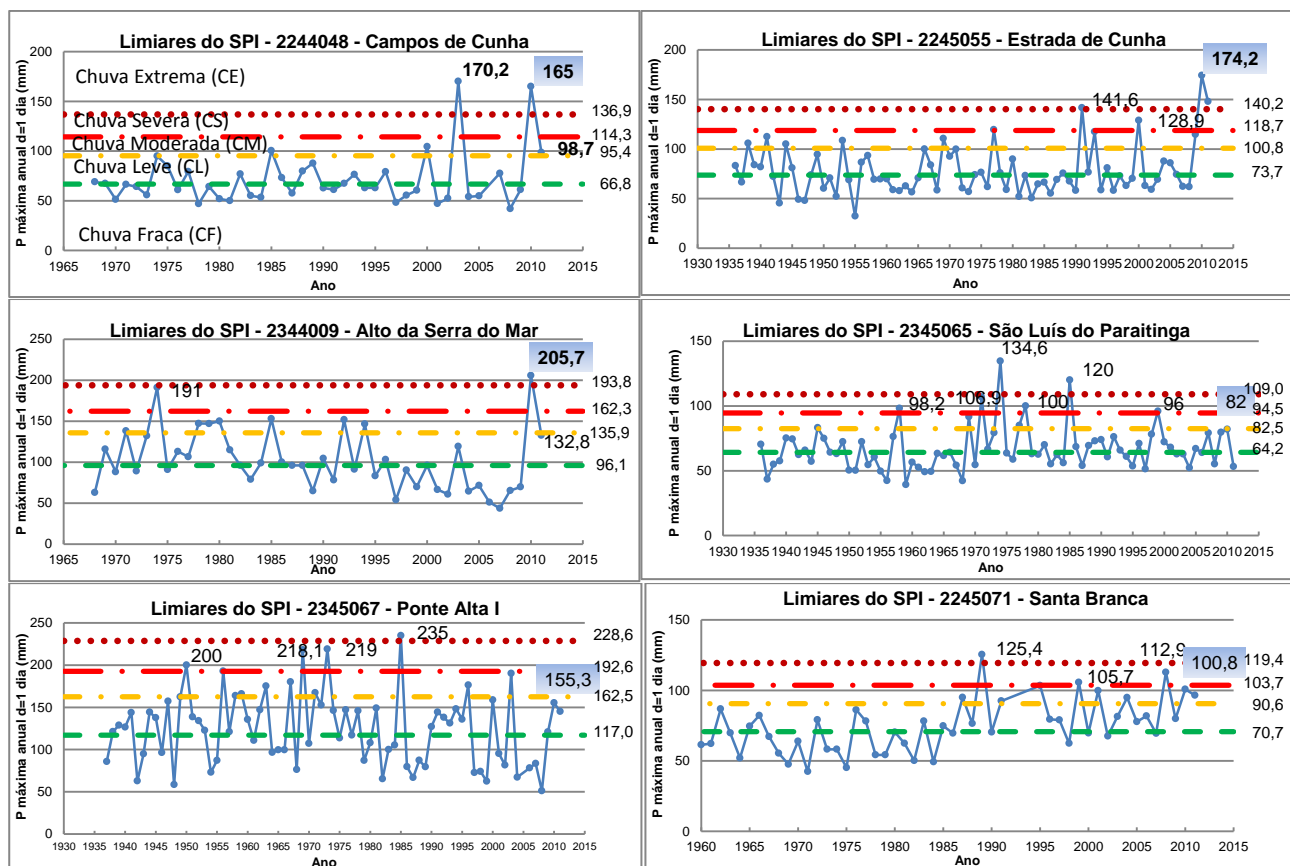


Figura 5 – Classificação das chuvas máximas diárias pelo SPI em SLP e Cunha

Através do SPI, as chuvas foram classificadas como extremas em três estações localizadas em Cunha, na cabeceira da bacia. Em Ponte Alta I e Santa Branca a chuva foi classificada como chuva moderada. De acordo com os limiares estimados para a estação São Luís do Paraitinga, a chuva observada no dia 1 de janeiro de 2010, de 67,4 mm, seria classificada como uma chuva leve. Portanto, os resultados indicam que a inundação tenha sido causada pela chuva extrema ocorrida na cabeceira da bacia, no dia 1 de janeiro de 2010, combinada com o período chuvoso de dezembro de 2009.

### **3 - CONCLUSÕES**

Os eventos críticos do dia 1 de janeiro de 2010 correspondem às máximas chuvas diárias históricas observadas em dois dos seis postos utilizados: Alto da Serra do Mar e Estrada de Cunha. Seus Trs variaram de 74 a 127 anos, calculados pela fórmula de Cunnane. Em Campos de Cunha, a chuva foi elevada, 165 mm, com Tr de 27 anos. Nos demais postos, os eventos registrados são recorrentes, com Trs variando de 5 a 12 anos.

O mês de dezembro foi chuvoso, condição que pode ter contribuído para a saturação do solo e posteriormente para a ocorrência de inundações após as chuvas elevadas de 1 de janeiro de 2010.

Apesar das chuvas de janeiro de 2010 serem elevadas, outros eventos dessa magnitude já foram registrados nestas estações, indicando que as chuvas extremas são características da região do Alto Vale do Paraíba.

As chuvas foram classificadas como extremas em três estações localizadas em Cunha, na cabeceira da bacia: Alto da Serra do Mar, Campos de Cunha e Estrada de Cunha. Em Ponte Alta I e Santa Branca a chuva foi classificada como chuva moderada. De acordo com os limiares estimados para a estação São Luís do Paraitinga, a chuva observada no dia 1 de janeiro de 2010, de 67,4 mm, seria classificada como uma chuva leve. Portanto, os resultados indicam que a inundação tenha sido causada pela chuva extrema ocorrida na cabeceira da bacia, no dia 1 de janeiro de 2010, combinada com o período chuvoso de dezembro de 2009.

Os resultados evidenciam a importância da análise da distribuição espacial da chuva na bacia hidrográfica. Se fosse observada apenas a chuva pontual ocorrida no município de SLP, a inundação não seria justificada.

O estudo apresenta uma alternativa para a classificação das chuvas, através do SPI, o Índice de Precipitação Padronizada, que pode dar indicativos para a determinação de limiares utilizados na mudança de estado nos Sistemas de Alerta contra inundações e escorregamentos.

Outros estudos devem ser realizados para confirmar outros eventos extremos e sua relação com as inundações e escorregamentos na bacia hidrográfica do Alto Paraíba do Sul.

### **REFERÊNCIAS**

AVADAN – São Luís do Paraitinga (2010). Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/pngr/pngr.html> Acesso em: maio de 2013.

DANTAS, C. E. O. (2012). Previsão e controle de inundações em meio urbano com suporte de informações espaciais de alta resolução. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, 2012, 221 p.

HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> Acesso em: maio de 2012.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, 561p.

ROSAL, M. C. F.; MEDEIROS, V. S. (2010). “Análise das precipitações máximas e dos eventos extremos ocorridos em São Luís do Paraitinga e municípios vizinhos”. In Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, CE, Nov. 2010. CD-ROM.

McKEE, T.B; DOESKEN, N. J.; KLIEST, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Boston. 1993.

MEDEIROS, V. S.; BARROS, M. T. L. (2011). *Análise dos eventos críticos de precipitação ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro em 11 e 12 de janeiro de 2011*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011. Maceió, AL. Anais... Maceió: ABRH, 2011. CD-ROM.

MEDEIROS, V. S.; BARROS, M. T. L. (2012). *Chuvas e desastres naturais ocorridos no Vale do Itajaí em 2008 e 2011*. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 2012, Rio Claro, SP. Anais do Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais. Rio Claro: IG, UNESP, CPRM, 2012. CD-ROM

MEDEIROS, V. S.; BARROS, M. T. L. (2011). *Estudo da variabilidade de chuvas intensas na Região Metropolitana de São Paulo e sua importância para a drenagem urbana*. In: WORLD WATER CONGRESS, 14, 2011. Porto de Galinhas, PE. Anais... Porto de Galinhas: IWRA – International Water Resources Association, 2011. CD-ROM

MEDEIROS, V. S. (2013). *Análise estatística de eventos críticos de precipitação relacionados a desastres naturais em diferentes regiões do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo - USP, 2013, 207 p.

SANTOS, M. S.; PINTO, E. J. A.; MARTINS, L. K. L. A. e PINTO, J. A. O. (2013). *Definição de limiares de secas e cálculo do índice de precipitação padronizada por meio de análise regional de frequências na bacia do alto São Francisco*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, 2013, V18, n.2

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. (2011). Análise da frequência de ocorrência e a classificação das precipitações diárias máximas anuais na região da laguna dos patos (sub-bacia 87) In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011. Maceió, AL. Anais... Maceio: ABRH, 2011. CD-ROM.