

## Caracterização de evento de precipitação extrema sobre a região sudeste do Brasil

Isela Vasquez<sup>1</sup>

Lígia Maria Nascimento de Araujo<sup>1,4</sup>

Juan G. Rejas Ayuga<sup>2</sup>

Arturo Sanchez<sup>3</sup>

Melissa Medina<sup>5</sup>

Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Caixa Postal 98506 – CEP:21945-970 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
iselavp@gmail.com  
otto@coc.ufrj.br

<sup>2</sup>Programa CAB Centroamérica, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Caminos, Canales y Puertos. c/Profesor Aranguren s/n. Madrid. 28040 – Spain  
rejasaj@inta.es

<sup>3</sup>Departamento de Meteorologia do Instituto de Geociências – IGEO - CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro-CEP:21.941-916  
arturo66cta@gmail.com

<sup>4</sup>Agência Nacional de Águas  
Setor Policial, área 5, Quadra 3, Blocos "B", "L", "M" e "T". Brasília-DF CEP: 70610-200  
ligia.araujo@ana.gov.br

<sup>5</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC, Av. Salaverry 2255, Lima 15076, Perú  
melissamb28@gmail.com

**Abstract.** This study analyzes the characteristics of the extreme precipitation event which took place in 2013 encompassing the states of Espírito Santo (ES) and Minas Gerais (MG). These two states are neighbors to the mountainous region of Rio de Janeiro (RJ). The wavelet transform and multifractal spectrum analysis are used to characterize the spatio-temporal variability of precipitation. Data from surface stations and TRMM satellite data set were used. The results suggest that this extreme event is associated to the convective activity of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) which indicates the importance of this system with respect to the corresponding impacts such as flooding and landslides in the region.

**Palavras-chave:** Precipitation, TRMM, Wavelet analysis, multifractal spectra.

### 1. Introdução

Fortes chuvas são comuns durante o verão na região sudeste do Brasil, especialmente devido ao fenômeno conhecido como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Dependendo do local exato em que ocorre um episódio e por quanto tempo ele permanece sobre o mesmo lugar, desastres graves podem se desenvolver. Ao longo de todo o mês de dezembro de 2013, fortes chuvas ocorreram sobre os estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES), causando graves danos aos habitantes de muitas cidades dessas regiões. O evento de dezembro 2013 foi causado por uma seqüência de episódios de ZCAS que variaram pouco espacialmente, permanecendo praticamente sobre uma mesma região por todo o mês. A ZCAS tem sido monitorada desde 1987, no Brasil, pelo CPTEC, com divulgação no boletim Climanálise editado até fevereiro de 2013 (CPTEC, 2013). Atualmente, o CPTEC edita o boletim Síntese Sinótica Mensal (CPTEC, 2014), onde noticia a ocorrência de episódios de ZCAS, que são identificados por características específicas já conhecidas.

Este trabalho analisa as propriedades multifractais das intensidades dos campos de precipitação, usando o espectro multifractal a partir do referencial do exame da associação de eventos extremos com o comportamento ZCAS, com base em postos pluviométricos, de

natureza pontual, e dados do satélite de chuva *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM, de natureza espacial. Explora-se, então, a variabilidade espaço-temporal dessas bases de dados por meio da técnica de análise de ondeletas, proporcionando uma melhor compreensão da representatividade dessas medidas de chuva. Nesse sentido, o presente trabalho aponta uma nova visão de análise integrada de bases de dados disponíveis de chuva, permitindo identificar a atuação e a representação de fenômenos precipitantes em diferentes escalas de tempo e de espaço.

## 2. Metodologia de Trabalho

As séries temporais do TRMM e da estação meteorológica foram submetidos à análise de multiresolução MRA com base na transformada de ondeleta contínua (Daubechics, 1992) e da ondeleta mãe Haar (Haar, 1910). A análise de ondeletas multiresolução (Mallat, 1998) permite a decomposição de uma função ou sinal em dois conjuntos de coeficientes, o de aproximações e detalhes, correspondendo a diferentes escalas. A escala  $j$  corresponde a uma escala de tempo  $2^j$  relativa a  $\Delta t$  presente nos sinais reais. Por exemplo, se  $\Delta t = 3$  horas,  $j = 1$  corresponde a uma escala de tempo de 6 horas, e  $j = 2$  corresponde a uma escala de tempo de 12 horas. O espectro multifractal  $f(\alpha)$  associa-se a parâmetros termodinâmicos do sistema, sendo  $f(\alpha)$  e  $\alpha$  a entropia e a energia interna do sistema, respectivamente. Esse espectro tem a capacidade de descrever fisicamente qualquer sistema estudado (Halsey *et al.*, 1986; Chhabra e Jensen, 1989). As análises dos espectros multifractais foram aplicados às imagens dos campos de precipitação acumulada de 4 dias (6-9/12/2013) e de 17 dias (10/12/2013 a 27/12/2013).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Precipitação

Os dados de precipitação foram coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em escala horária em 64 estações nos estados do ES e MG. Os totais de precipitação de 24 horas são monitorados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA) e estavam disponíveis em 127 estações na bacia do rio Doce (MG e ES) e para todo o ES, com dados correspondentes ao mês de dezembro de 2013. Esses dados revelaram um evento realmente extremo, que gerou um elevado número de pessoas afetadas na região. Os dados TRMM também foram obtidos para diversas durações.

### 3.2 Dados observados ou registrados em estações

Os dados horários revelaram eventos intensos para as durações de 24h, 48h, 72h, 96h (4d), 144h (6d), 192h (8d), 240h (10d) até 360h (15d). Como essas durações podem ser analisadas com os totais diários, foi possível ampliar o número de pontos de análise para 191, complementando eventuais períodos sem dados, decorrentes de problemas com as estações automáticas e aumentando a cobertura espacial. Dos dados diários, identificam-se quatro seqüências de 4 a 7 dias de duração de chuvas intensas muito acima do patamar considerado intenso, 55mm para 24h (Pfafstetter, 1982), que são mostrados na Figura 1.

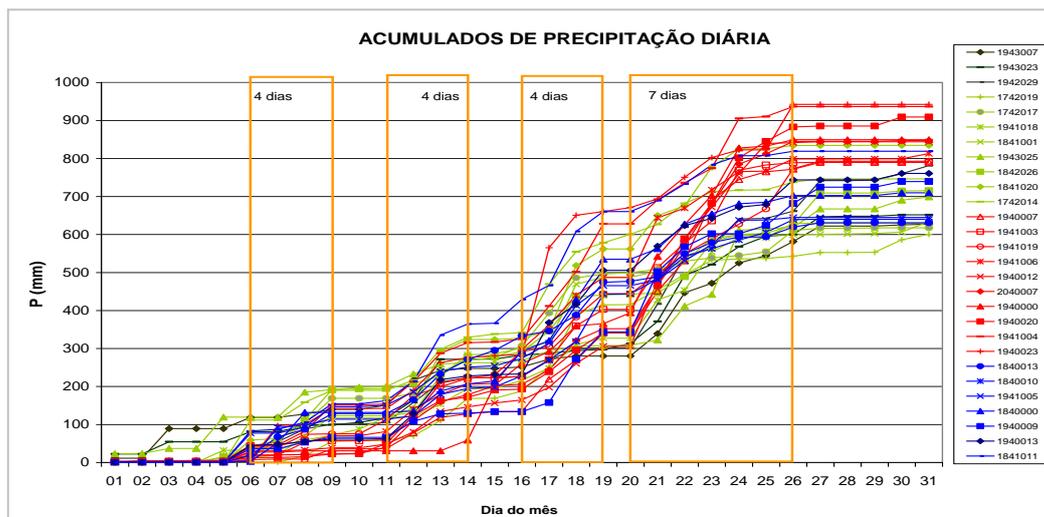


Figure 1: Evolução da precipitação no mês de dezembro de 2013

### 3.3 Comparação de registros históricos: Magnitude e frequências para eventos similares

Comparando-se os dados de precipitação máxima de 24 horas das normais climatológicas (INMET, 1960 e 1991) com os observados em 2013, verifica-se que valores da ordem dos de 2013, máximo em novembro e segundo máximo dentro do evento em análise, já haviam ocorrido antes na região, como mostra a Figura 2 para a estação de Vitória (ES). O que parece ter contribuído para a extremidade do evento foi a continuidade das chuvas por vários dias com intensidades críticas. A Figura 3 mostra que o total máximo de seis dias de precipitação em dezembro de 2013 foi muito superior a qualquer valor mensal médio de 30 anos.

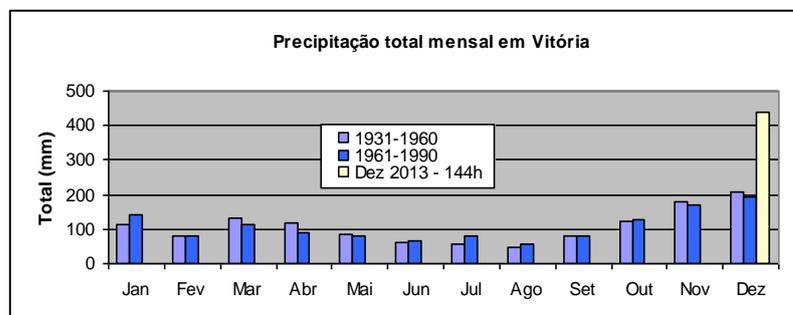


Figure 2: Precipitação máxima de 24 horas de dezembro de 2013, INMET (1979) e DNMET (1992)

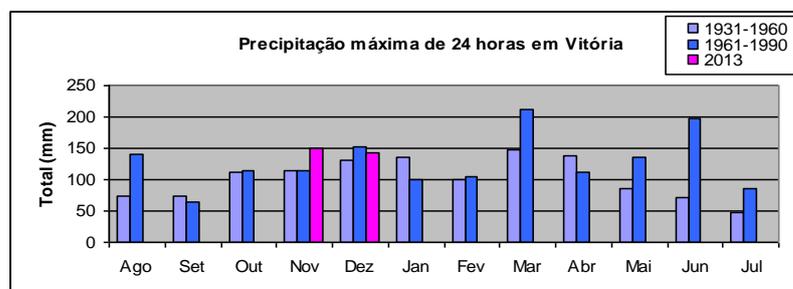


Figure 3: Precipitação de 6 dias em dezembro de 2013 e totais mensais INMET (1979) e DNMET (1992)

O estudo de Pfaffstetter (1982) foi usado para estimar o tempo de retorno para diversas durações do evento de 2013. Com os resultados apresentados na Tabela 1, revela-se um evento verdadeiramente extremo para a duração de 144h ou 6 dias, com TR estimado em 622 anos.

Tabela 1 - Estimativas de TR do evento de 2013

duração(h)	P obs (mm)	TR (anos)
24	149.2	9
48	185.4	12
72	254.2	43
96	269.0	39
144	439.2	<b>622</b>

Eventos como o de 2013 podem ser mais frequentes do que o esperado. Esse fato poderia ser confirmado por meio de uma análise regional de chuvas intensas por toda a região de atuação da ZACS, em vez de estimativas com abordagem local. A magnitude dos eventos parece estar aumentando ao longo dos anos, uma vez que os desastres associados são, atualmente, de maiores proporções, porém é necessário considerar, também, o aumento da ocupação em áreas mais vulneráveis.

### 3.4 Análise multiresolução da variação temporal e correlação entre píxeis TRMM e estações meteorológicas

Para a análise dos detalhes das análises de multiresolução das estações e dos píxeis TRMM para a área de estudo, dividiu-se a região em quatro quadrantes na escala de 3 horas. A Figura 4 mostra os quadrantes com as respectivas estações e píxeis TRMM.

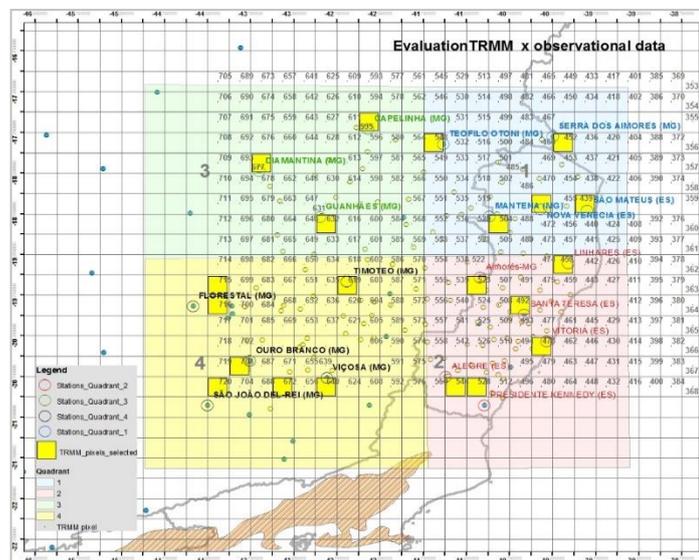


Figura 4: Quadrantes e píxeis TRMM e estações na escala temporal de cada 3 horas para dezembro de 2013

A Figura 5 (a, b, c e d) mostra a dependência dos detalhes em relação à escala para os níveis de decomposição de  $j = 6$  ( $D_1$ - 6h;  $D_2$ -12h;  $D_3$ -24h,  $D_4$ -48h,  $D_5$ -96h,  $D_6$ -192h) das séries das estações dos dados observados e das séries dos píxeis do TRMM mais próximos das estações representativas. Observa-se que há uma maior sobrestimação das séries dos píxeis TRMM em relação às estações com dados observados para os níveis  $j = 6$  ( $D_1$ - 6h;  $D_2$ -12h;  $D_3$ -24h) para os quadrantes 1 (Nova Venecia e Serra dos Almores), quadrante 2 (Alegre, Linhares, Presidente Kennedy, Santa Teresa, Vitoria e Aimorés) quadrante 4 (Floresta, Ouro branco, São João do Rey, Timóteo e Viçosa). Para o quadrante 3 (Capelinha, Diamantina e Guanhães), que está dentro da região que foi afetada pelo evento extremo de precipitação, a sobrestimação é menor. A partir do nível de decomposição  $j = 4$  ( $D_4$ -48h,  $D_5$ -96h,  $D_6$ -192h), a variância normalizada das séries de tempo para os quatro quadrantes e as séries das estações observadas evidenciam que a correlação é maior entre as séries observadas e as séries estimadas pelo TRMM.

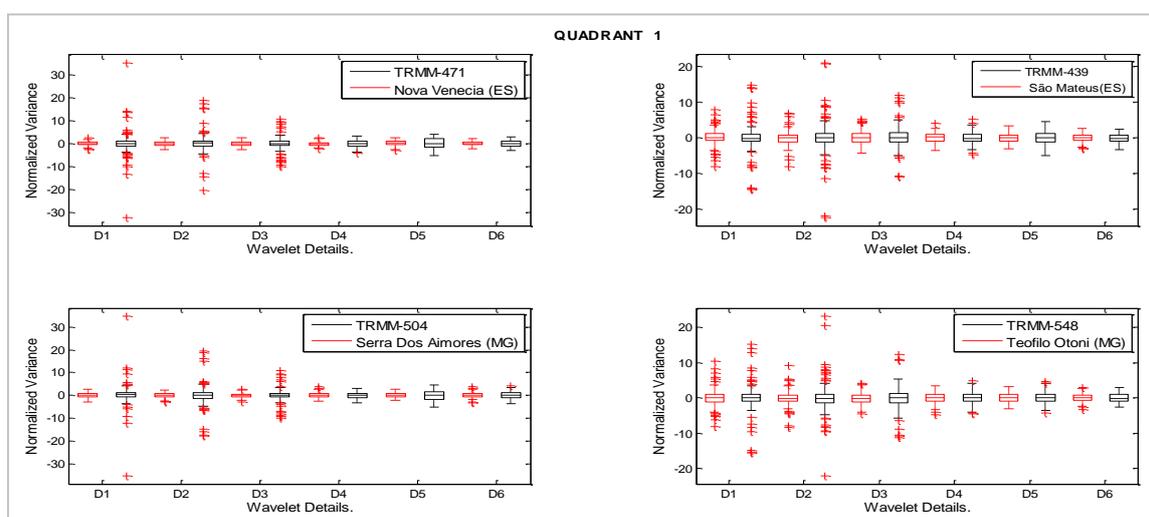


Figure 5a. Variância dos detalhes ( $D_1$ - 6h;  $D_2$ -12h;  $D_3$ -24h,  $D_4$ -48h,  $D_5$ -96h,  $D_6$ -192h) dos píxeis TRMM e das estações com dados observados de precipitação no quadrante 1.

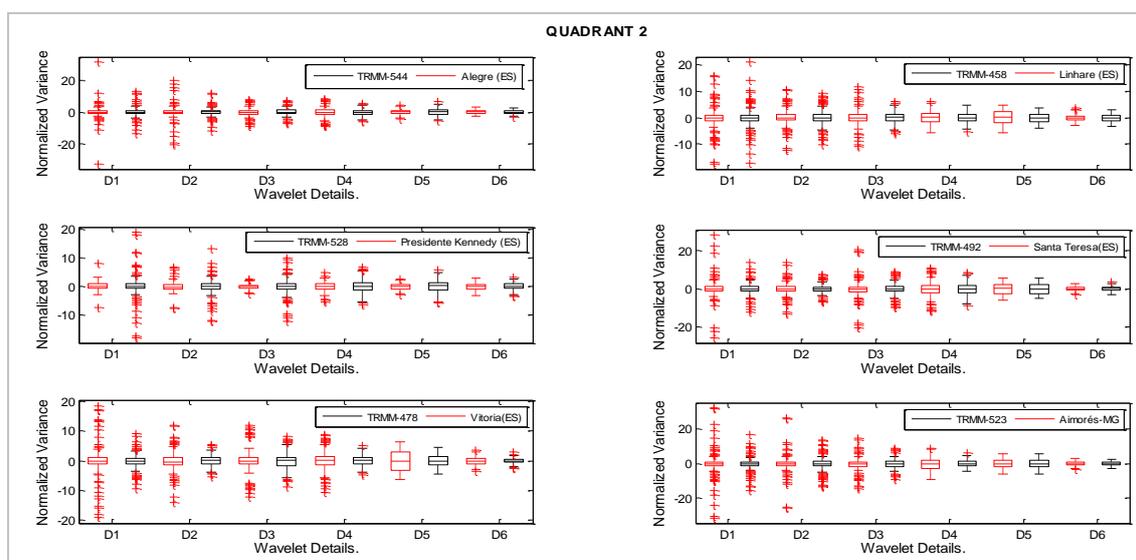


Figure 5 b. Variância dos detalhes ( $D_1$ - 6h;  $D_2$ -12h;  $D_3$ -24h,  $D_4$ -48h,  $D_5$ -96h,  $D_6$ -192h) dos píxeis TRMM e das estações com dados observados de precipitação no quadrante 2

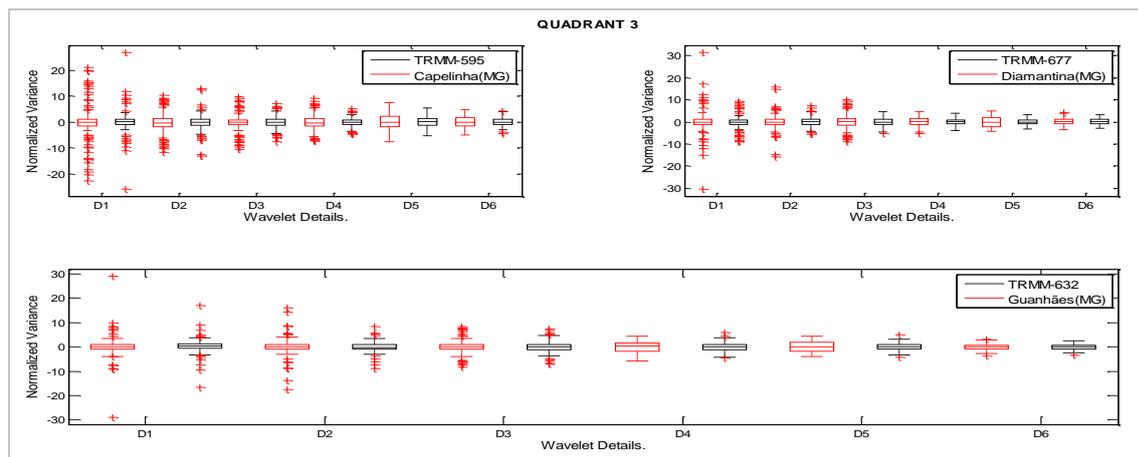


Figure 5 c. Variância dos detalhes (D<sub>1</sub>- 6h; D<sub>2</sub>-12h; D<sub>3</sub>-24h, D<sub>4</sub>-48h, D<sub>5</sub>-96h, D<sub>6</sub>-192h) dos píxeis TRMM e das estações com dados observados de precipitação no quadrante 3.

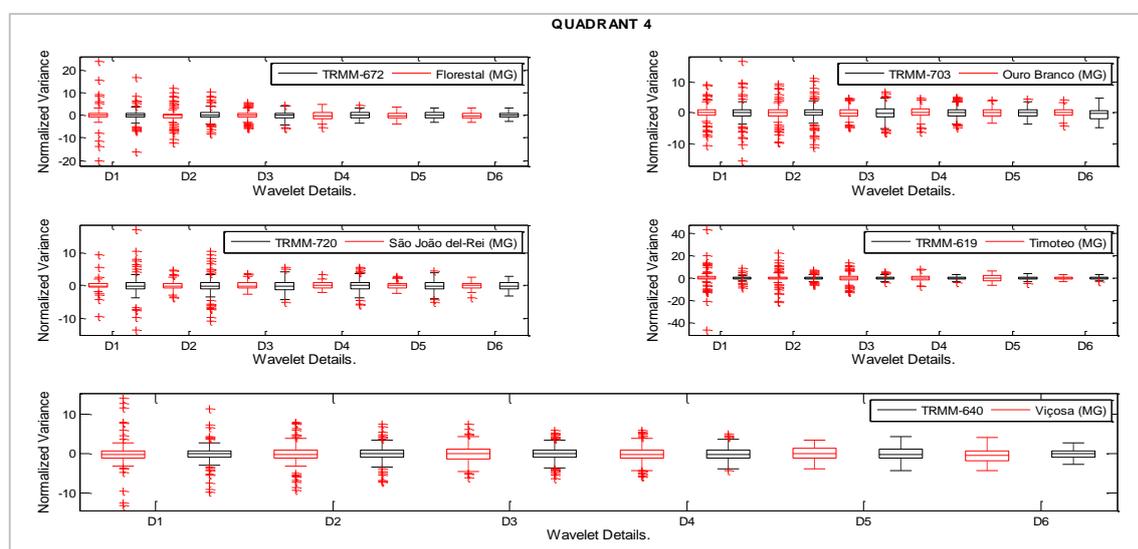


Figure 5 d. Variância dos detalhes (D<sub>1</sub>- 6h; D<sub>2</sub>-12h; D<sub>3</sub>-24h, D<sub>4</sub>-48h, D<sub>5</sub>-96h, D<sub>6</sub>-192h) dos píxeis TRMM e das estações com dados observados de precipitação no quadrante 4.

Em uma análise dos dados de chuva durante o evento chuvoso em estudo, com base na Figura 5, avaliaram-se as séries temporais de 3 horas dos postos pluviométricos e dos dados TRMM para o mês de dezembro de 2013, evidenciando-se uma informação bastante interessante para o comportamento dos dados de chuva. Nessa análise, apontou-se que, dependendo do número de horas acumuladas, pode haver diferentes aderências entre os dados pluviométricos e de TRMM. Em especial, para os dois quadrantes em que foram maiores os volumes de chuva, Figura (Figura 6 – a, b, c, d). Na Figura 5, revela-se uma maior aderência entre dados de estações pluviométricas e dados TRMM. De forma geral, nas diferentes situações, a aderência é maior a partir de 2 dias. No caso de eventos extremos, intervalos de horas apresentam distribuições mais próximas entre si. Finalmente, o estudo demonstra que a análise multirresolução é uma boa ferramenta para investigar as propriedades de escala das séries temporais e a correlação dependente da escala. A aplicação foi feita com o objetivo de quantificar a influência do período de média temporal na qualidade de recuperação e estatísticas de validação.

### 3.5 Dados do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Campos de precipitação acumulada para 4d,7d,4d, 6d, 7d, 10d, 14d e 17d do dia 05/12/2013 ao dia 27/12/2013, período com precipitação intensa, foram validados com os dados observados das estações em superfície. A Figura 7 a e 7 b mostra o evento de 2013 e sua persistência sobre a região central do ES e da bacia do rio Doce em MG

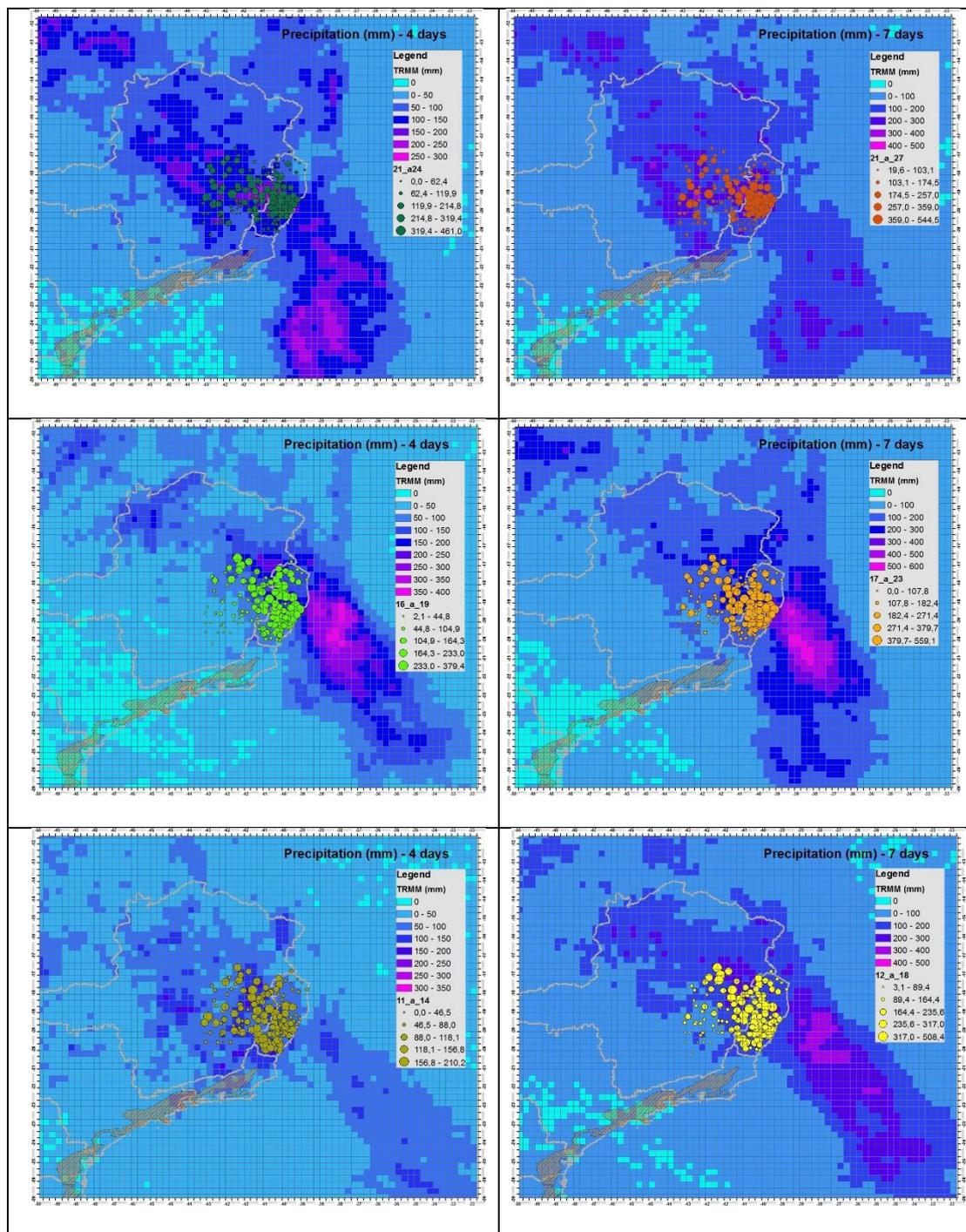


Figura 6a. Evolução da precipitação acumulada -TRMM para o evento de 4dias (esquerda) e de 7dias (direita) e a representação dos registros de precipitação com simbologia proporcional a sua intensidade no período de 11 de dezembro de 2013 a 27 de dezembro do 2013

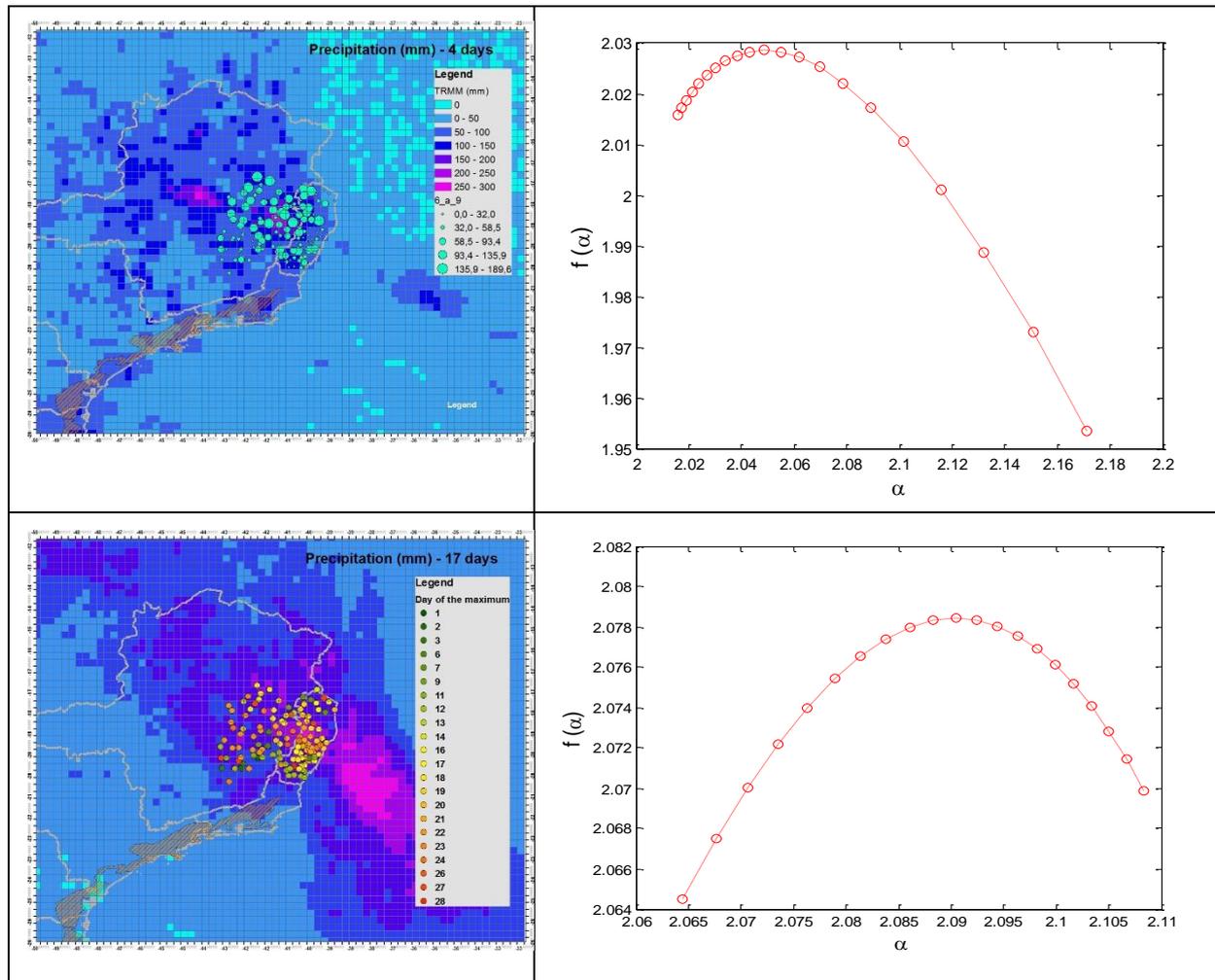


Figura 6b. Evolução da precipitação acumulada -TRMM para o evento de 4 dias e de 17 dias (esquerda) e os respectivos espectros multifractais (direita).

Observe-se que os espectros multifractais são diferentes para os dois campos, comprovando que, no campo de precipitação acumulada de 17 dias do TRMM, as intensidades estão concentradas quando a ZCAS está em atividade. Em outras palavras, o evento apresenta homogeneidade quanto à diferença do campo de precipitação acumulada de 4 dias onde o ZCAS está em formação.

#### 4. Conclusões

Os dados do TRMM estimam adequadamente a precipitação durante os episódios de ZCAS na região sudeste do Brasil. Esse fato foi verificado comparando-os com os dados observados em 191 estações. O evento catastrófico de dezembro de 2013 nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo foi formado por, pelo menos, quatro episódios de ZCAS, de duração de 4 dias a 7 dias, todos com precipitação diária muito acima do patamar 55 mm considerado intenso por Pfafstetter (1982) observada na maior parte das estações. Pode-se considerar a duração total do evento chuvoso como de 17 dias. Os episódios de ZCAS foram marcados por intervalos de um ou dois dias de precipitação nula na grande maioria das estações, ou de precipitação menos intensas, como foram os dias 10, 15 e 20 de dezembro.

A estimativa do tempo de retorno do evento de precipitação de dezembro de 2013 em mais de 600 anos para a precipitação de 6 dias foi feita com um estudo que considerou dados até 1950, com séries relativamente curtas e de abordagem pontual.

Os resultados mostram que, dependendo do volume de chuva, escalas temporais distintas associadas ao fenômeno são acionadas. A aderência em intervalos de tempo menores mostrou-se atenuada para eventos chuvosos menos significativos. Complementarmente, mostra-se que, para intervalos de tempo de análise superiores ao limiar de 2 dias acumulados de chuva, aderências significativas são acentuadas entre dados pontuais e satelitais.

A partir desse diagnóstico, novas diretrizes de pesquisa podem ser identificadas com vistas a prover uma avaliação integrada no domínio espacial e no domínio da frequência para estimativa de chuvas associadas a incertezas ao longo do tempo, com desdobramentos na área de regionalização de informações hidrológicas e de previsão hidrometeorológica e correspondentes impactos na escala da bacia hidrográfica.

### Agradecimentos

Inicialmente, os autores agradecem a bolsa de estudos concedida ao primeiro autor fornecida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Agradecimentos são estendidos à FAPERJ, por meio dos projetos FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), FAPERJ –Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) – E26/110.753/2012, FAPERJ – Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2017) –E-26/010.002980/2014, FAPERJ No. E\_12/2015, bem como ao suporte oferecido pelo projeto CNPq Edital Universal No. 14/2013 – Processo 485136/2013-9 e pelo projeto MCT / FINEP / CT-HIDRO (2005-2016).

### Referências Bibliográficas

Carvalho, L. M. V., Jones, C., and Liebman ,B., 2002: "Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone" *Journal of Climate*, 15, 2397–2394.

Carvalho, L. M. V., Jones, C., and Liebman ,B., 2004: "The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall" *Journal of Climate*, 17, 88–108.

CPTEC, 2014: *Síntese Sinótica Mensal* - Dezembro de 2013. Available in: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/125631>>. Access in: 2014/03/02.

CPTEC, 2013: *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Publicação Mensal. Available in: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/>>. Access in: 2014/03/02.

Daubechies, I. 1992: *Ten lectures on wavelets*, SIAM, Philadelphia, PA, pp. 278-285.

Ferraz, S. E. T.; Ambrizzi, T., 2006: "Caracterização da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em dados de precipitação" XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. SBMET, Florianópolis – SC, 2006.

Haar, A., 1910: "Zur theorie der orthogonalen funktionensysteme" *Math. Ann.*, 69, 331– 371.

INMET, 1979: *Normais Climatológicas (1931-1960)* 2<sup>a</sup> edição. Ministério da Agricultura. Instituto Nacional de Meteorologia. Rio de Janeiro: INMET, 1979. 78p.

Kodama, Y-M., 1992: "Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I characteristics of subtropical frontal zones" *J. Meteor. Soc. Japan* 70, 813-835.

Kodama, Y-M., 1993: "Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs" *J. Meteor. Soc. Japan* 71, 581-610.

Mallat, S.G., 1998: *A Wavelet Tour of Signal Processing*, second ed. Academic Press, San Diego.