

Análise hidrometeorológica de eventos extremos de chuvas na Bacia do Rio Iguaçu, Nova Iguaçu - Rio de Janeiro (Brasil)

Gleison Rodrigues da Silva¹; Fabricio Polifke da Silva¹; Gisele Dornelles Pires¹; Rafael João Sampaio¹

¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

gleisonro2012@gmail.com, briciopolifke@gmail.com, unigengenharia@gmail.com, samprafael@gmail.com

Resumo - *Eventos extremos de chuva são a causa de perdas socioeconômicas significativas em vários países e se destacam como o principal componente associado à ocorrência de inundações. Portanto, o conhecimento associado aos eventos hidrometeorológicos extremos é um tema relevante não só para a comunidade de ciências atmosféricas em engenharia, mas também interdisciplinar devido a sua alta capacidade de modificar as características e o comportamento do ambiente físico em que interage. Utilizando o limiar pluviométrico acima de 100 mm / dia, verificou-se a ocorrência de dois eventos extremos de chuvas na bacia do rio Iguaçu. O primeiro evento foi associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o segundo à presença de um sistema frontal. Através de imagens de satélite, modelagem numérica, foi possível verificar que, para o primeiro evento, as chuvas ocorreram distribuídas sobre a bacia do Iguaçu. Para o segundo evento, os resultados sugeriram que a precipitação ocorreu de forma isolada. A partir do cotograma e dos parâmetros hidrológicos também foi possível observar que o rio Iguaçu apresentou uma rápida resposta à ocorrência de chuvas nos dois eventos. No entanto, também foi possível observar que, para uma precipitação distribuída sobre a bacia, o tempo de concentração tendeu a apresentar uma menor resposta em comparação ao evento isolado.*

Palavras-chave: Rio Iguaçu, hidrometeorologia, Tempo de concentração

Abstract - *Extreme rainfall events are the cause of significant socioeconomic losses in several countries and stand out as the main component associated with the occurrence of floods. Therefore, the knowledge associated with extreme hydrometeorological events is a relevant theme not only for the community of atmospheric sciences in engineering, but also interdisciplinary due to its high capacity to modify the characteristics and behavior of the physical environment in which it interacts. Using the rainfall threshold of over 100 mm/day it was verified the occurrence of two extreme rainfall events in the Iguaçu River basin. The first event was associated to the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and the second to the presence of a frontal system. Through satellite images, numerical results it was possible to verify that for the first event the rainfall occurred distributed over the Iguaçu basin. For the second events the results suggested the rainfall occurred in isolated form. From the cotagram and hydrological parameters was also possible to observe that Iguaçu River presents a rapid response to the rainfall occurrence in both events. However, it was also possible to observe that for a distributed rainfall over the basin the concentration time tended to present a lower response in compare to the isolated event.*

Keywords: Iguaçu River, hydrometeorology, concentration time

1 Introdução

A ocorrência de eventos extremos de chuva nas regiões sul e sudeste do Brasil tornou-se mais intensa e mais frequente nos últimos cinquenta anos, sendo tais regiões severamente impactadas por desastres naturais (principalmente relacionados a enchentes e deslizamentos de terra). As projeções climáticas futuras indicam um aumento das condições atmosféricas (umidade e processos mais dinâmicos) favoráveis à ocorrência de chuvas extremas. Assim, devido a estas condições climáticas, a ocorrência destes eventos extremos, assim como outros fenômenos meteorológicos, é esperada possuir uma maior frequência sobre estas regiões do Brasil (Marengo et al. 2009).

No estado do Rio de Janeiro, os eventos de chuvas ocasionados principalmente pela formação de sistemas convectivos isolados, passagem de sistemas frontais ou a configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul. A presença destes sistemas associadas às condições atmosféricas observadas na estação de verão (isto é, maiores temperaturas e maior disponibilidade de umidade), favorecem a formação de tempestades convectivas sobre a região. Além disso, especialmente durante o verão austral, a interação das áreas montanhosas (região Serrana) do estado do Rio de Janeiro, a proximidade ao Oceano Atlântico e as altas taxas de aquecimento oriundo da radiação solar criam condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de eventos extremos de chuvas e perigos naturais, como enchentes e deslizamentos de terra (Oakley et al. 2017).

Vários critérios para a definição e caracterização de eventos extremos de precipitação são apresentados por vários autores (Carvalho et al. 2002; Dereczynski et al. 2009; Silva et al. 2016). Isso acontece porque esses critérios são inteiramente relacionados aos regimes locais de precipitação, à presença e frequência dos sistemas meteorológicos predominantes e também aos objetivos da pesquisa. Assim, a identificação da ocorrência de eventos de chuva externa pode ser iniciada a partir do estabelecimento de um limiar que caracteriza um evento de chuva como extremo, ou seja, um evento que ocorre com pouca frequência (Dereczynski et al. 2017). Considerando a variedade de critérios para a Costa et al. (2018) utilizaram o limiar de 100 mm para a caracterização de eventos extremos de precipitação na cidade de Nova Iguaçu. A fim de categorizar os sistemas meteorológicos que favoreceram a ocorrência destes eventos extremos, os autores verificaram, utilizando as informações disponíveis nos boletins meteorológicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (<http://climanalysis.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/>), que a passagem de frentes frias e a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul foram os sistemas meteorológicos que favoreceram a formação de chuvas extremas na cidade de Nova Iguaçu.

Inserido nesse contexto e com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão realizada pelas defesas civis, o Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA (<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/index.htm>) criou em 2008, o Sistema de alerta de alerta de inundação. Nesse sistema, meteorologistas, hidrólogos e técnicos realizam o monitoramento hidrometeorológico 24 horas por dia e enviam avisos de alerta para defesas civis e população quando uma situação de risco hidrológico é identificada (Bahense et al. 2015). Entre os rios monitorados pelo INEA, optou-se por iniciar a pesquisa do rio Iguaçu (estação Catavento), pois possui uma boa quantidade de dados disponíveis, possui uma boa frequência de dados observados e cursa a cidade de Nova Iguaçu, localizada na região da Baixada Fluminense.

2 Materiais e Métodos

A bacia do rio Iguaçu está localizada na cidade de Nova Iguaçu, no estado do Rio de Janeiro (Figura 1). A cidade de Nova Iguaçu destaca-se por sua importância cultural, política e econômica na Baixada Fluminense, com uma população estimada em 798.657 habitantes distribuídos em setenta e três bairros, com 523.888 km², segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.ibge.gov.br/home/>). A cidade de Nova Iguaçu é também cercada por encostas, com bacias hidrográficas significativas passando por seu interior e é, frequentemente, assolada por eventos de chuvas e transbordamentos de rios. Com base nessas informações, pesquisas visando compreender a ocorrência dos eventos extremos de precipitação e a sua interação com o regime hidrológico no município de Nova

Iguaçu adquirem um tema de grande relevância, especialmente para as rotinas operacionais e de defesa civil (Costa et al. 2018).

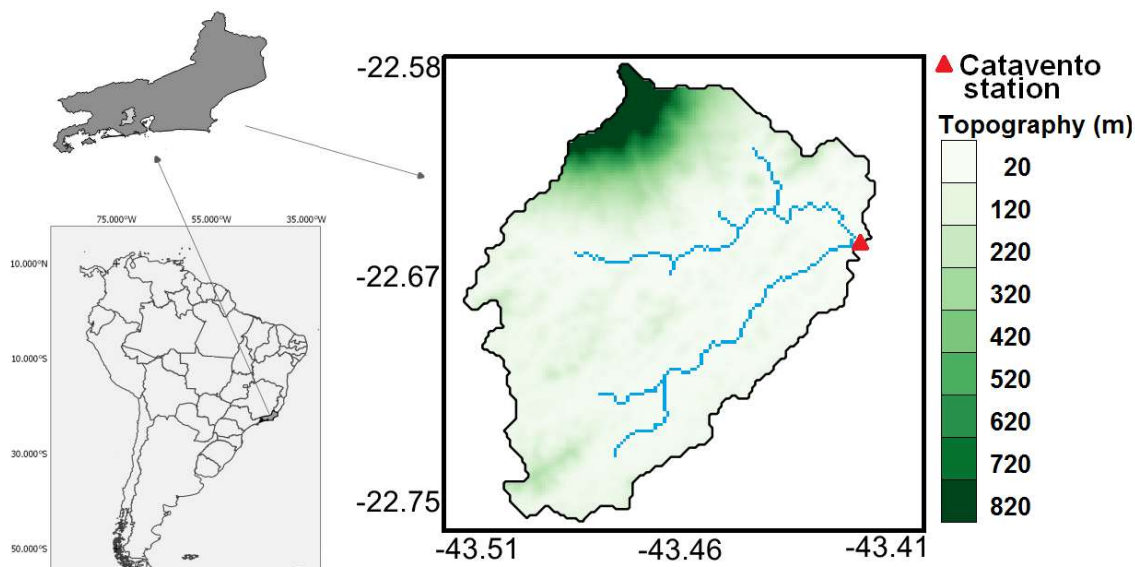


Figura 1- Perfil de elevação da bacia do rio Iguaçu. A estação Catavento encontra-se realçada em vermelho (triângulo).

Para avaliar os parâmetros hidrológicos na bacia do rio Iguaçu será utilizada a metodologia do Cotagramas. Através desta metodologia, é possível avaliar parâmetros hidrológicos associados à interação da chuva e comportamento do rio, como os tempos de precipitação, crescimento e de concentração (Figura 2). O tempo de precipitação (T_p) corresponde à porção da precipitação que gera o escoamento superficial, também chamado de chuva excedente. O tempo de crescimento (T_r) relaciona o tempo entre o início da chuva e o pico do nível da água, ou fluxo, registrado. Finalmente, o tempo de concentração (T_c) é o intervalo de tempo a partir do início da precipitação, de modo que toda a bacia hidrográfica corresponde a contribuir na seção de estudo (Quevedo et al. 2018). Esses parâmetros estão relacionados à característica de resposta da bacia hidrográfica e podem ser caracterizados e obtidos através de análises gráficas entre a precipitação e as variações do nível de água no ponto de controle de interesse (Junior e Botelho 2011). Elas podem ser aplicadas para diferentes propósitos, como a implementação de sistemas de alerta de inundação, projetos de drenagem urbana, separação de hidrogramas e definição do intervalo de monitoramento hidrológico, entre outros.

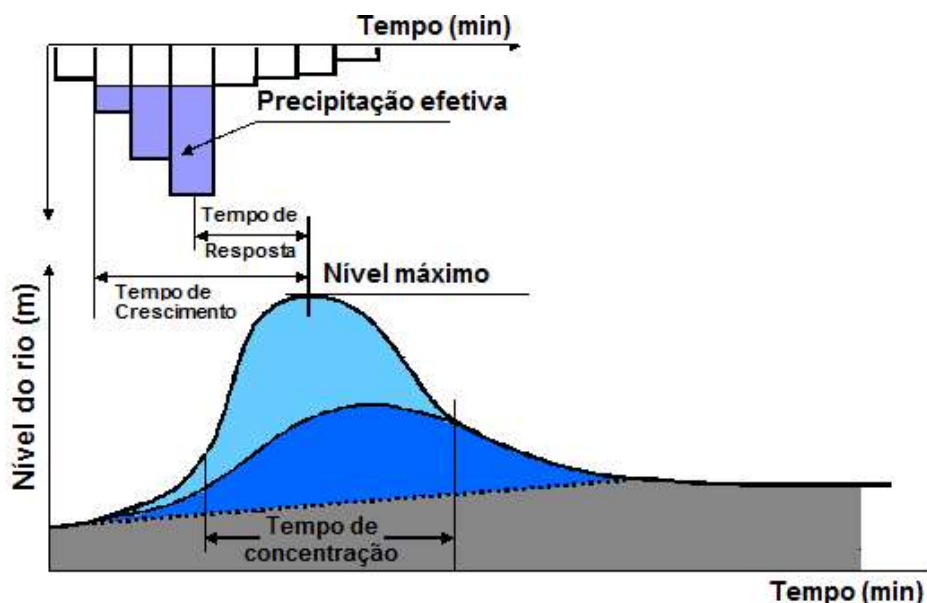


Figura 2 – Cotograma e parâmetros hidrológicos.

O modelo numérico Weather Research and Forecasting (WRF)) (Skamarock et al. 2008) versão 3.8 foi utilizado neste trabalho por ser considerado um modelo numérico de predição da próxima geração, sendo flexível em sua instalação e configuração física e numérica. O WRF tem uma comunidade de usuários crescente e é usado operacionalmente por vários centros de ambiente. Informações adicionais e detalhadas sobre o modelo WRF, suas versões, opções e fóruns de discussão podem ser acessadas no site do usuário do modelo (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users>). O modelo foi também configurado com um total de três domínios e hierarquias de grade WRF modeladas com resoluções de domínio horizontal de 27 km (d01), 09 km (d02) e 03 km (d03), respectivamente.

3 Resultados

Utilizando a rede telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente, foi possível constatar a ocorrência de dois eventos em que a precipitação diária acumulada ultrapassou o limiar de precipitação de 100 mm na bacia do rio Iguaçu. O primeiro evento ocorreu em 25 de janeiro de 2010 e o segundo em 29 de março de 2010. Por meio do Boletim Climanálise do CPTEC / INPE (<http://climanalysis.cptec.inpe.br/>) e dos mapas sinóticos elaborados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (<https://www.marinha.mil.br/dhn>), verificou-se que a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) favoreceu as chuvas extremas no dia 25 de janeiro e uma aproximação do sistema frontal foi relacionada ao evento extremo em 29 de março, corroborando os resultados obtidos no trabalho de Costa et al. (2018).

3.1 Análise hidrometeorológica em 25 de janeiro de 2010

Através de imagens de satélite (Figura 3a e 3c) é possível verificar a presença de nuvens com convecção profunda durante a tarde de 25 de janeiro sobre a região Sudeste do Brasil (região delimitada pelo retângulo em vermelho) às 16 horas e 18 horas locais relacionadas à presença da ZCAS. Em várias regiões, é possível verificar a presença de tempestades com temperaturas de brilho abaixo de -70°C , caracterizando a presença de nuvens com

convecção profunda e favoráveis à ocorrência de chuvas intensas nessas regiões (Anabor 2004; Lima 2010). Os resultados da simulação numérica utilizando o WRF (Figura 3b e 3d) também corroboram a presença de intensa atividade convectiva na bacia do rio Iguaçu, com valores de refletividade simulados acima de 40 dBZ (Hagen et al. 2000; Parker e Johnson 2000; Goudenhoofdt e Delobbe 2012).

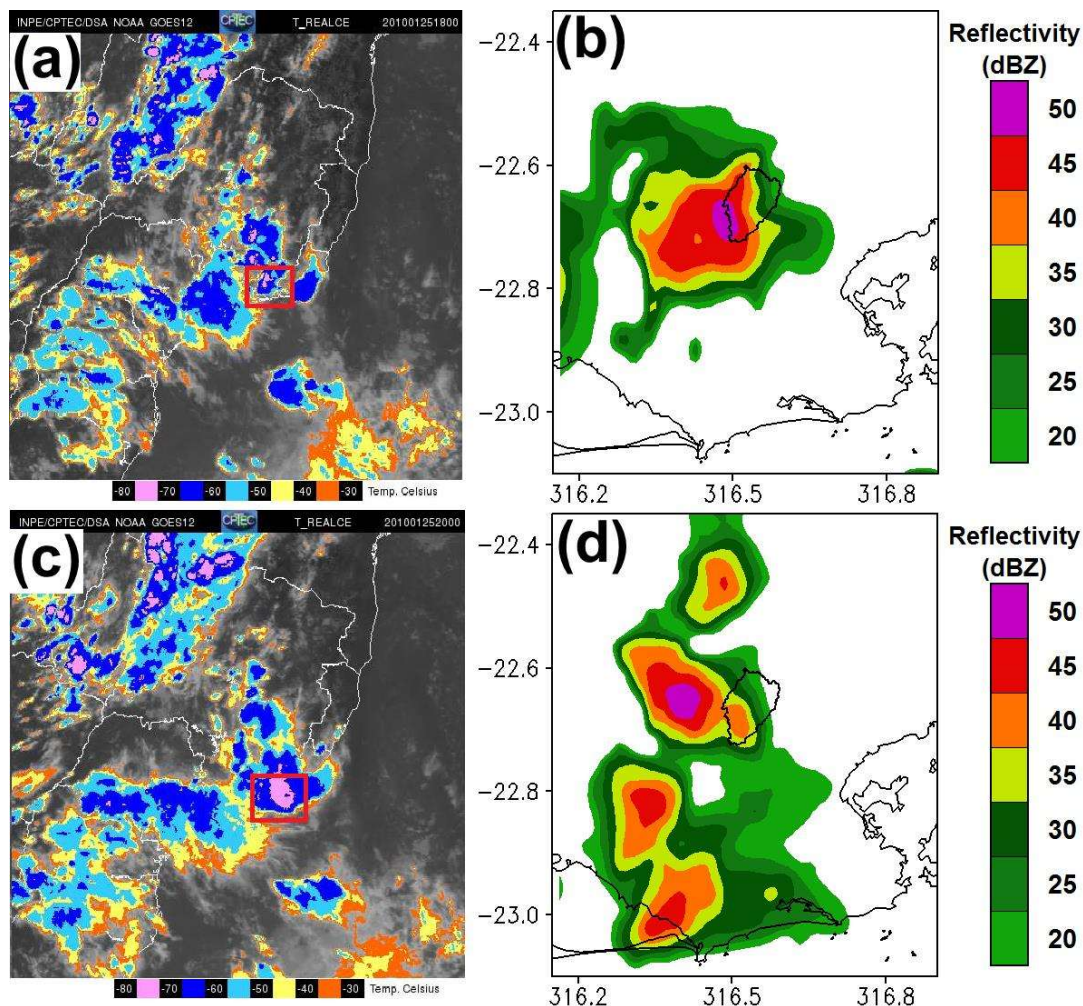


Figura 3 – Imagens de satélite e resultados do WRF às 16h e 18h, hora local, em 25 de janeiro de 2010.

A Figura 4 mostra o cotograma do Rio Iguaçu para o dia 25 de janeiro de 2010. A precipitação acumulada neste dia foi de 117,8 mm, favorecendo a subida do rio Iguaçu. Utilizando a metodologia de cotograma (Figura 2), pode-se verificar que o tempo de precipitação (T_p), tempo de subida (T_r) e tempo de concentração (T_c) foram de aproximadamente cinco (5), oito (8) e dezoito (18) horas, respectivamente. Apesar do curto período de precipitação observado (T_p), valores mais altos são observados para os outros dois parâmetros (T_r e T_c). No entanto, T_c foi encontrado para ser mais de duas vezes T_r . Esses valores e comportamento sugerem que, durante esse evento hidrometeorológico, o nível do rio Iguaçu não respondeu apenas às chuvas observadas na estação de monitoramento, mas em outros pontos não monitorados da bacia (Bayraktar et al. 2015), como pôde ser observado por a presença de nuvens convectivas a partir das imagens de satélite e os resultados do modelo WRF (Figura 3).

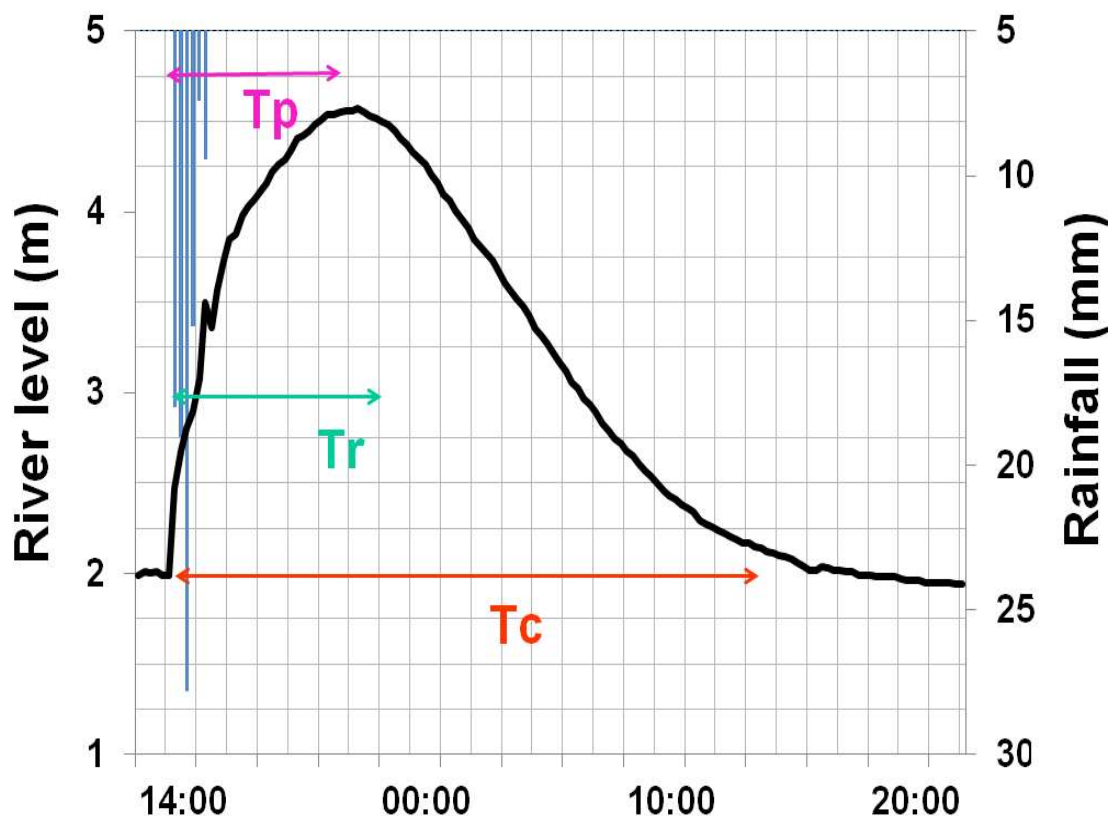


Figura 4 – Cotograma do rio Iguaçu em 25 de janeiro de 2010. .

3.2 Análise hidrometeorológica em 29 de março de 2010

A partir das imagens dos satélites em 29 de março de 2010 (Figura 5a e 5c), uma menor distribuição espacial da atividade convectiva sobre o sudeste do Brasil (região limitada pelo retângulo em vermelho) pode ser verificada em relação ao evento anterior (Figura 3). No entanto, valores semelhantes de temperatura de brilho sobre a região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro também são observados. Essa característica mostra condições atmosféricas favoráveis à presença de convecção profunda e alta ocorrência de chuva semelhante ao evento anterior. Os resultados do modelo WRF também mostraram uma menor distribuição espacial da refletividade e valores expressivos de refletividade (acima de 40 dBZ) indicando a presença de nuvens convectivas sobre a bacia do rio Iguaçu (Figura 5b e 5d).

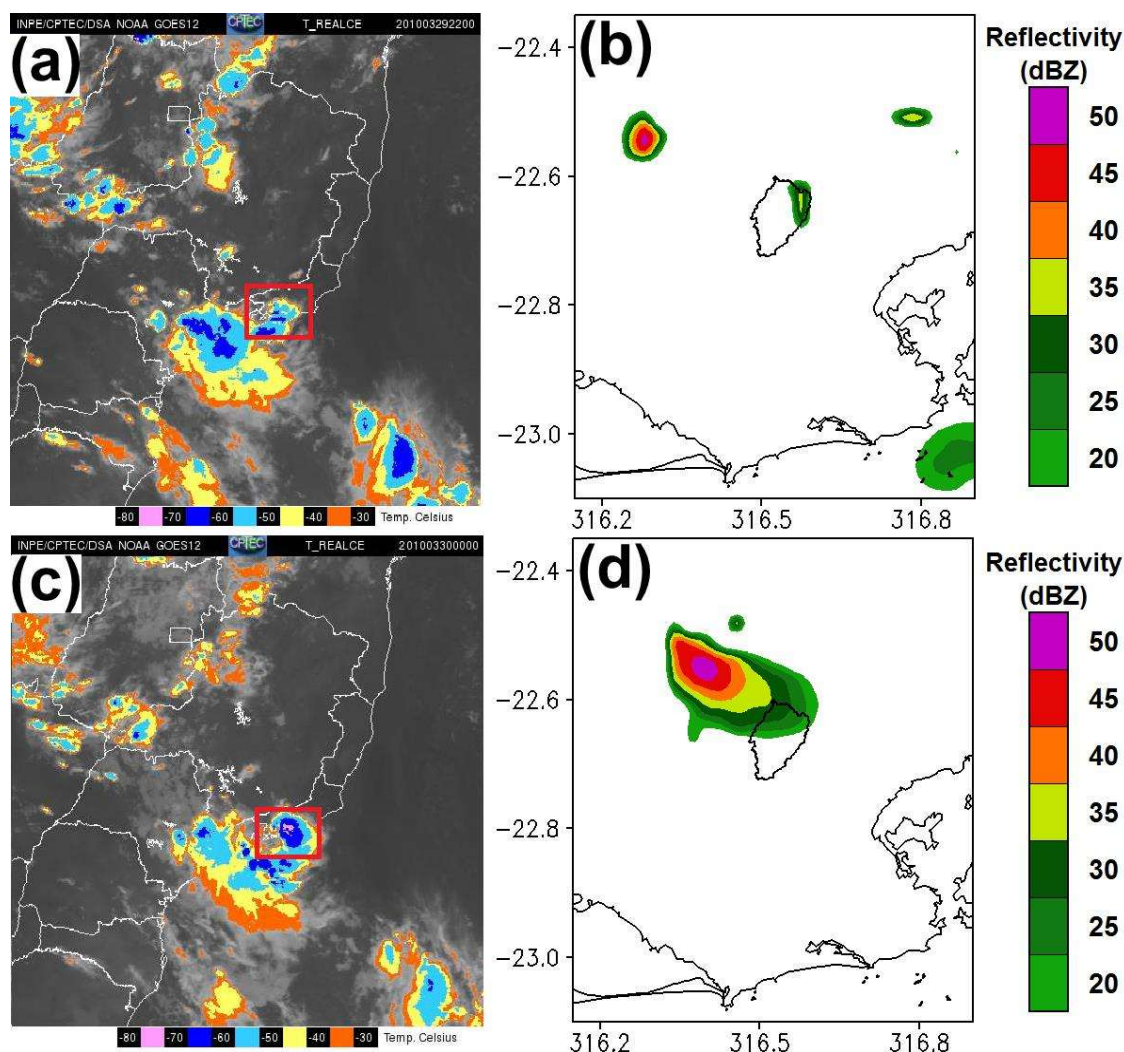


Figura 5 – Imagens de satélite e resultados do WRF às 16h e 18h, hora local, em 29 de março de 2010.

Através do cotograma (Figura 6) é possível avaliar o comportamento do rio Iguaçu no dia 29 de março de 2010. A precipitação acumulada neste dia foi de 127,8 mm, favorecendo a subida do rio Iguaçu. Em contraste com o observado no evento extremo de precipitação anterior (Figura 4), há uma resposta rápida mais rápida e valores de nível mais alto do rio Iguaçu em resposta à ocorrência de precipitação para este evento.

Usando a metodologia de cotogramas, verifica-se que o tempo de subida (T_c) foi de aproximadamente 4 horas e o tempo de subida (T_r) foi de aproximadamente 3 horas. Esse comportamento mostra que, imediatamente após o início das chuvas, o nível do rio Iguaçu começou a subir, sugerindo que o fluxo de água começou a fluir na região mais próxima da bacia exutória. Também é possível verificar que o tempo de concentração (T_c) foi de aproximadamente 6 horas. Se uma precipitação distribuída uniformemente sobre a bacia, o tempo de precipitação corresponde a aproximadamente 60% do tempo de concentração (Simas 1996). Assim, através de uma análise comparativa entre os dois tempos analisados, verifica-se que o tempo de crescimento correspondeu à literatura que caracteriza a ideia proposta deste evento de chuva que a variação do referido nível de água para uma chuva mais localizada neste evento pluviométrico.

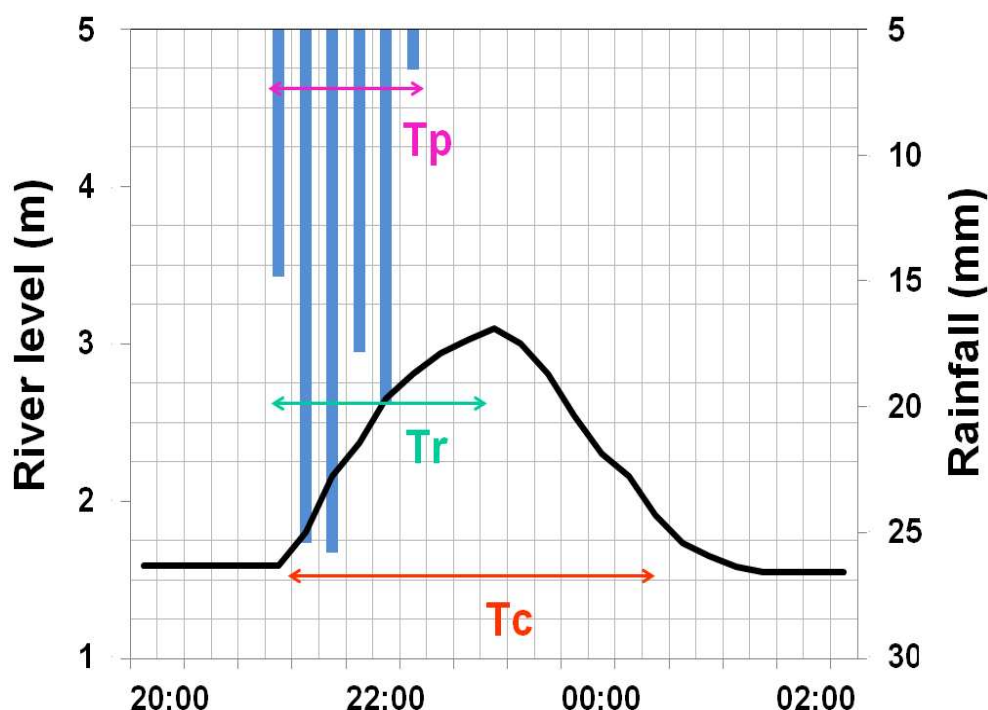


Figura 6 – Cotograma do rio Iguaçu em 29 de março de 2010.

4 Conclusões

O conhecimento das condições atmosféricas que levam à ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos é caracterizado como tema relevante não só para a comunidade de ciências atmosféricas em engenharia, mas também interdisciplinar devido a sua alta capacidade de modificar as características e o comportamento do ambiente físico com que interage. Neste trabalho, o limiar pluviométrico acima de 100 mm / dia foi utilizado como critério para a identificação de eventos extremos de chuvas na cidade de Nova Iguaçu. Por meio do critério selecionado, foi possível constatar a ocorrência de dois eventos pluviométricos na bacia do rio Iguaçu. O primeiro evento extremo ocorreu em 25/01/2010 e o segundo em 29/03/2010. Também foi possível verificar que o funcionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a passagem de uma frente fria favorecem, respectivamente, a ocorrência de elevados acúmulos pluviométricos na região.

Através da análise dos cotogramas e dos parâmetros hidrológicos associados, observou-se que, apesar do curto período de precipitação observado, maiores valores foram observados para os tempos de crescimento e tempo de resposta. Para o primeiro evento de chuva extrema, os parâmetros hidrológicos sugeriram que o nível do rio Iguaçu não respondia apenas às chuvas observadas no ponto de monitoramento, mas em outros pontos não monitorados na bacia para o primeiro evento de chuva extrema. Para o segundo evento extremo, um comportamento contrário foi observado. Neste caso, uma rápida resposta rápida do rio Iguaçu em resposta à ocorrência de precipitação com tempo de concentração foi observada por aproximadamente 4 horas e o tempo de precipitação de aproximadamente 3 horas. Esses valores mostraram que, imediatamente após a ocorrência da chuva, o nível do rio Iguaçu começou a aumentar, sugerindo que o fluxo da água começou a fluir na região mais próxima do exutório.

5 Referências Bibliográficas

- Anabor V (2004) Análise descritiva dos sistemas convectivos de escala meso- α através das imagens de satélite GOES-8. Dissertation, Federal University of Rio Grande do Sul
- Bahiense JM, Júnior JEFF, Costa LF, Charge LT (2015) Monitoramento hidrológico quantitativo no estado do Rio de Janeiro: Importância, histórico e modernização. <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-991>. Accessed 03 jan 2018
- Bayraktar H, Turalioglu FS, Xen Z (2005) The estimation of average areal rainfall by percentage weighting polygon method in Southeastern Anatolia Region, Turkey. *Atmospheric Research* 73:149-160
- Carvalho LMV, Jones C, Liebmann B (2002) Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 15(17): 2377–2394.
- Costa WP, Silva GR, Silva FP, Pires GD, Sampaio RF (2018) Eventos extremos de precipitação na cidade de Nova Iguaçu: Identificação e estimativa por radar. *Rev Eng, Meio Amb e Inov* 1:21-27
- Dereczynski CP, Oliveira JSd, Machado CO (2009) Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Rev Bras Meteorol* 24(1):24–38. doi:10.1590/s0102-77862009000100003
- Dereczynski CP, Renata NC, Airton BB (2017) Chuvas Extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX, *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2): 17-30
- Hagen M, Schiesser HH, Doringner M (2000) Monitoring of mesoscale precipitation systems in the Alps and the northern Alpine foreland by radar and rain gauges. *Meteor. Atmos. Phys.* 72:87–100. doi:10.1007/s007030050008
- Junior JEFF, Botelho RGN (2011) Análise Comparativa do Tempo de Concentração: Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Cônego, Município de Nova Friburgo/RJ. <https://www.abrh.org.br/>. Accessed 01 feb 2018
- Lima KC, Satyamurty P, Fernández JPR (2010) Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brasil. *Theoretical and Applied Climatology*, 101:121-135
- Llasat MC (2001) An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the Northeast of Spain, *Int. J. Climatol.*, 21, 1385–1400, doi:10.1002/joc.692
- Marengo JA (2010) Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas .pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf). Accessed 02 apr 2018
- Marengo JA, Jones R, Alves LM, Valverde MC (2009) Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol* 29(15):2241–2255. doi:10.1002/joc.1863

Oakley NS, Lancaster JT, Kaplan ML et al. (2017). Synoptic conditions associated with cool season post-fire debris flows in the Transverse Ranges of southern California. *Nat Hazards*. doi:10.1007/s11069-017-2867-6

Parker MD, Johnson RH (2000) Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.* 128: 3413–3436. doi:10.1175/1520-0493(2001)129,3413: OMOMMC.2.0.CO;2

Quevedo JM, Gomes G, Lisboa AM, Werlang MM (2018) Flow Forecasting System Downstream the Itaipu Dam. *Advances in Hydroinformatics*. Springer Water.

Silva FP, Justi da Silva MGA, Menezes WF, Almeida VA (2015) Avaliação de Indicadores Atmosféricos Utilizando o Modelo Numérico WRF em Eventos de Chuva na Cidade do Rio de Janeiro, *Anuário do Instituto de Geociências*, 38(2): 81-90

Silva FP, Rotunno Filho OC, Sampaio RJ, Dragaud ICV, Magalhães AAA, Justi da Silva MGA, Pires GD (2017) Evaluation of atmospheric thermodynamics and dynamics during heavy-rainfall and no-rainfall events in the metropolitan area of Rio de Janeiro, Brazil *Meteorol Atmos Phys* <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0570-5>

Simas M (1996) Lag time characteristics in small watersheds in the United States. A dissertation submitted to School of Renewable Natural Resources, University of Arizona

Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda M, Huang XY, Wang W, Powers JG (2008) A description of the advanced research WRF version 3. Tech. Rep. TN-475+STR, NCAR

Souza Pinto (1976) *Hidrologia Básica*. Editor Blucher