

Estudo das tempestades que geram raios ascendentes

Jessica Cristina dos Santos Souza ¹
Marcelo Magalhães Fares Saba ²
Rachel Ifanger Albrecht ¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/IAG/DCA
Rua do Matão, 1226 Butantã - 05508090 – São Paulo - SP, Brasil
jessica.cristina.souza@usp.br
rachel.albrecht@iag.usp.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CST
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
marcelo.saba@inpe.br

Abstract. The study of induced lightnings are of great relevance because with the increasing of vertical cities, there may be a corresponding increase of upward lightning started from a tall structure connected to the ground toward cloud. Then, risks associated with these discharges should also be considered for the protection of persons and property. In this context, the objective of this study is to determine the characteristics of storms that generate upward lighting. From the data collected in 2012 until 2016, it could be recorded 140 upward leaders that started from one of the towers located on Pico do Jaraguá, in São Paulo with the aid of a few ultra-fast cameras. For analysis of these discharges and corresponding storms, satellite imagery were collected and images of electromagnetic sources of lightning measured by SPLMA and LINET from January to march in 2012 and after by BrasilDAT and STARNET until june 2016 were generated. Besides that, images of reflectivity data from radar São Roque, FCTH and IACIT (CAPPI product) in the period of January and march 2012 that measured precipitation during the experiment CHUVA-GLM Vale do Paraíba, from the radar São Roque (CAPPI product) from april 2012 to march 2015 and from radar FCTH (PPI product) from january 2014 to june 2016 were plotted. Based on analyzes of the horizontal structure and on the signature of the radar bright band, most of the precipitation could be categorized as stratiform, with reflectivity lower than 40 dBZ.

Palavras-chave: eletrical discharges, radar, precipitation, descargas elétricas, radar, precipitação.

1. Introdução

O início dos estudos sobre raios trigados por altas estruturas, por Uman (1987), é atribuído a McEachron, que em 1939 publicou um trabalho em que há registro de 20 raios ascendentes com dados ópticos e de corrente no Empire State Building em Nova York, nos Estados Unidos. E, também nessa localidade, Hagenguth e Anderson em 1952 adquiriu mais dados sobre as características desse tipo de raio. Posteriormente, Berger em 1967, detectou que 85% dos raios que observou no Monte San Salvatore na Suíça foram iniciados das extremidades de torres em direção a base das nuvens carregadas.

Os raios ascendentes geralmente começam com uma intensificação do campo elétrico acima de uma alta estrutura até que excede a rigidez dielétrica do ar e então inicia-se um líder ascendente da extremidade da estrutura que se propaga em direção a base da nuvem, estabelecendo uma corrente contínua inicial (CCI) de acordo com Schumann (2013).

Os riscos associados a esses raios, que não são incluídos em normas de proteção, uma vez que seu primeiro registro no Brasil foi realizado em janeiro de 2012 no Pico do Jaraguá, ponto mais alto da cidade de São Paulo, ainda precisam ser elucidados, pois os atuais padrões de proteção contra raios são baseados nos raios descendentes. Dessa forma, estudos sobre os raios ascendentes são de grande relevância para aumentar o entendimento sobre o fenômeno e contribuir para a proteção de pessoas e pertences em edifícios altos. E, para a proteção de estruturas altas, tais como torres de telecomunicações, de distribuição e produção de energia.

Com base no exposto, este trabalho objetiva determinar as características das tempestades que geram raios ascendentes, classificando a precipitação do radar em convectiva ou estratiforme com a finalidade de identificar qual o tipo de precipitação pelo qual os raios ascendentes se propagaram e também examinando a estrutura vertical das tempestades que geraram esses raios ascendentes.

2. Metodologia de Trabalho

Com base na coleta de dados de janeiro de 2012 a junho de 2016, pôde-se registrar cento e quarenta raios ascendentes que tiveram início a partir de uma das torres situadas sobre o Pico do Jaraguá, na cidade de São Paulo, com o auxílio de algumas câmeras ultrarrápidas. Em termos geográficos, a torre se encontra nos arredores de um marco correspondente à latitude $23^{\circ}27'31.3''$ S e à longitude $46^{\circ}46'00.4''$ W.

Assim, coletou-se imagens de satélite, dados de radar, dados e imagens do *São Paulo Lightning Mapping Array* (SPLMA), e dados do *Lightning detection NETWORK* (LINET) e das redes do Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas atmosféricas (BrasilDAT) por Naccarato et al. (2012) e da *Sferics Timing And Ranging NETWORK* (STARNET) por Morales et al. (2014). E, a precipitação foi classificada em convectiva ou estratiforme com base em Steiner et al. (1995).

No período do registro dos raios, de janeiro a março de 2012, três radares mediram a precipitação durante o experimento CHUVA-GLM Vale do Paraíba: São Roque, FCTH e IACIT. O experimento de campo CHUVA-GLM Vale do Paraíba por MACHADO ET AL. (2014) mediu detalhadamente a estrutura da precipitação e também realizou medições de raios com 11 redes de sensores diferentes, incluindo o *Lightning Mapping Array* (LMA), e o *Lightning detection NETWORK* (LINET). No intervalo compreendido entre abril de 2012 a março de 2015, os dados de radar disponíveis eram do radar de São Roque. Nesses dois períodos, os dados são um produto chamado CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*), que transforma os dados medidos de coordenadas polares para cartesianas, gerando mapas de refletividade do radar em níveis de altura constante. De janeiro de 2014 a junho de 2016, os dados adquiridos foram do radar FCTH que constituem um produto PPI (*Plan Position Indicator*), obtido através de uma varredura em azimute em coordenadas

polares, para somente um ângulo de elevação determinado ($1,3^\circ$). A partir de abril de 2012, os dados de raios acessados foram das redes do Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas atmosféricas (BrasilDAT) e da *Sferics Timing And Ranging NETWORK* (STARNET).

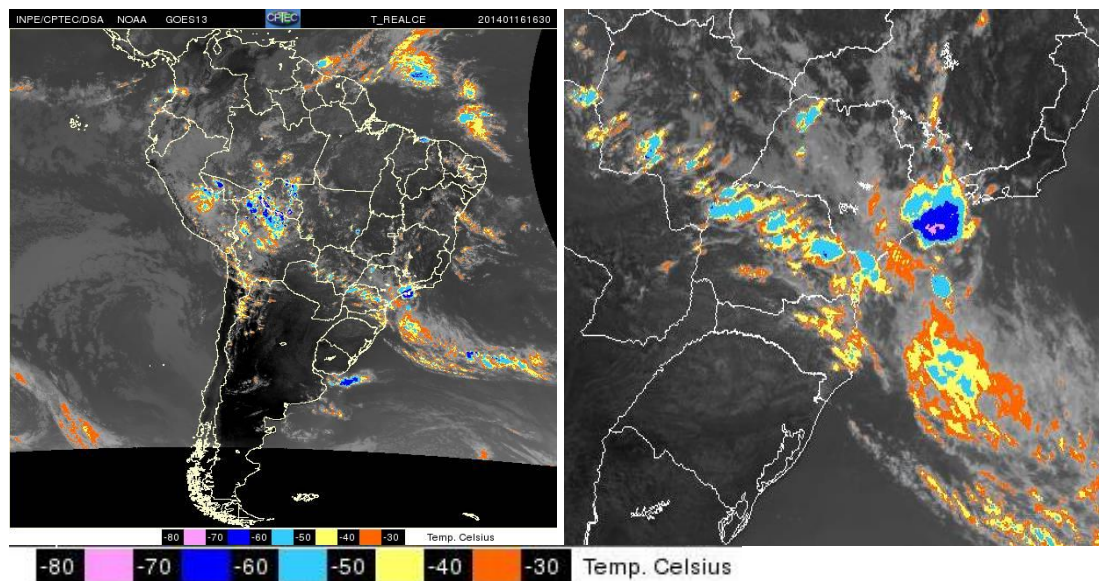
A classificação da precipitação em convectiva ou estratiforme baseou-se em Steiner et al. (1995) em uma altitude de 3km com auxílio de um algoritmo no qual qualquer ponto de grade do campo de refletividade do radar maior que 40 dBZ é automaticamente categorizado como convectivo. Se um pixel não é identificado como convectivo nesse primeiro passo, calcula-se a refletividade de fundo (Z_{bg}) em um raio de 11km. Para ser considerado um centro convectivo, a diferença de refletividade dada pelo echo de um radar deve exceder a intensidade de refletividade de fundo do ambiente local. O resultado é a seguinte curva (Equação 1), em que ΔZ é a diferença entre a refletividade em um pixel e a refletividade de fundo Z_{bg} , a qual deve ser excedida pelo pixel para ser designada como centro convectivo:

$$\Delta Z = \begin{cases} 10, & Z_{bg} < 0 \\ 10 - \frac{Z_{bg}^2}{180}, & 0 \leq Z_{bg} \leq 40 \\ 0, & Z_{bg} \geq 40 \end{cases} \quad (1)$$

ΔZ é dado em decibel e Z_{bg} em dBZ. Pontos acima ou na curva são classificados como convectivos. O restante dos pixels é estratiforme se a refletividade for maior que 5 dBZ (refletividades menores que 5 dBZ não são consideradas por estarem próximas ao nível de ruído do radar).

3. Resultados e Discussão

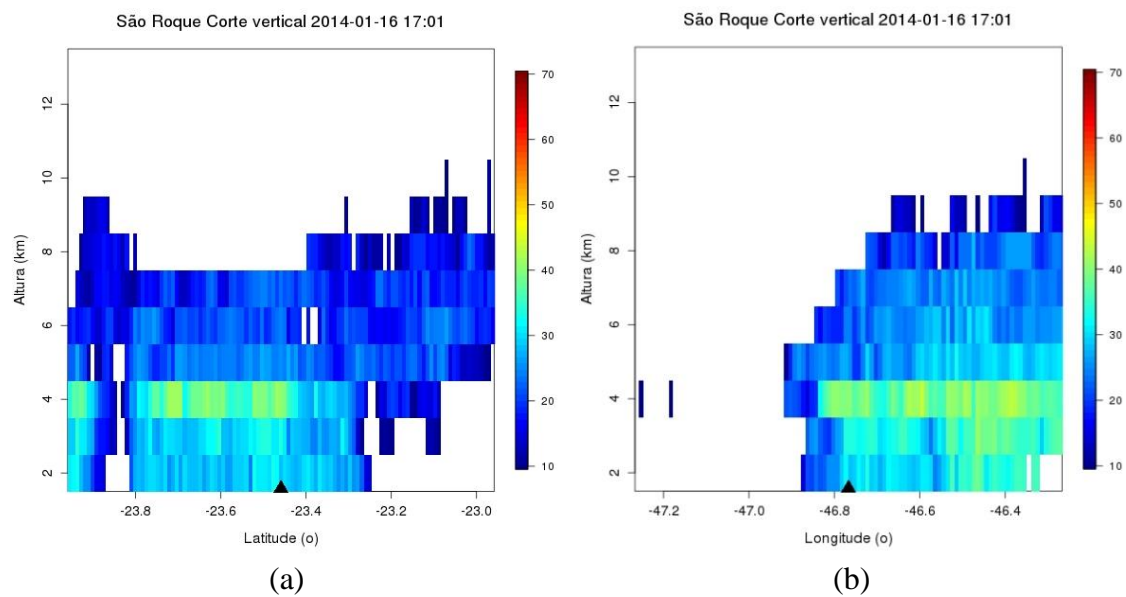
Os resultados mostraram que em 2014 pôde-se registrar vinte e oito raios ascendentes em nove dias de tempestade. Onze desses raios ocorreram no dia 16/01/2014 em duas distintas tempestades. A primeira produziu dois raios (0059 UTC e 0104 UTC) e a segunda, nove, entre 1621 UTC e 1711 UTC. As imagens de satélite mostram o cenário geral do dia (Figura 1a). Às 1630 UTC, há um núcleo convectivo bem desenvolvido no litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 1b). Na segunda tempestade, a imagem dos dados de refletividade do radar São Roque mostram valores medianos e altos valores a sudeste (áreas convectivas) (Figura 2c, 2d). Os cortes verticais latitudinais e longitudinais (Figura 2a, 2b) exibem que na localidade de estudo a precipitação era estratiforme pela presença da banda brilhante do radar com pico de refletividade visto em 4 km e confirmado pela figura 2e em que tem-se a refletividade em diferentes alturas para a latitude e longitude fixado no pico do Jaraguá. A classificação na figura também confirma a precipitação estratiforme pelo ponto de estudo estar na região azul (Figura 2f). Pelas estatísticas da rede de detecção STARNET para o Sudeste, o acumulado horário das 0000 UTC e 0100 UTC foi de 1420 raios. E, para entre 1600 UTC e 1700 UTC, o acumulado horário registrou 2403 raios.



(a)

(b)

Figura 1. Imagens do satélite GOES-13 do canal 4 (infravermelho) com temperatura realçada para o dia 16/01/2014 às 16:30 GMT (a) América do Sul; (b) Sul e Sudeste.



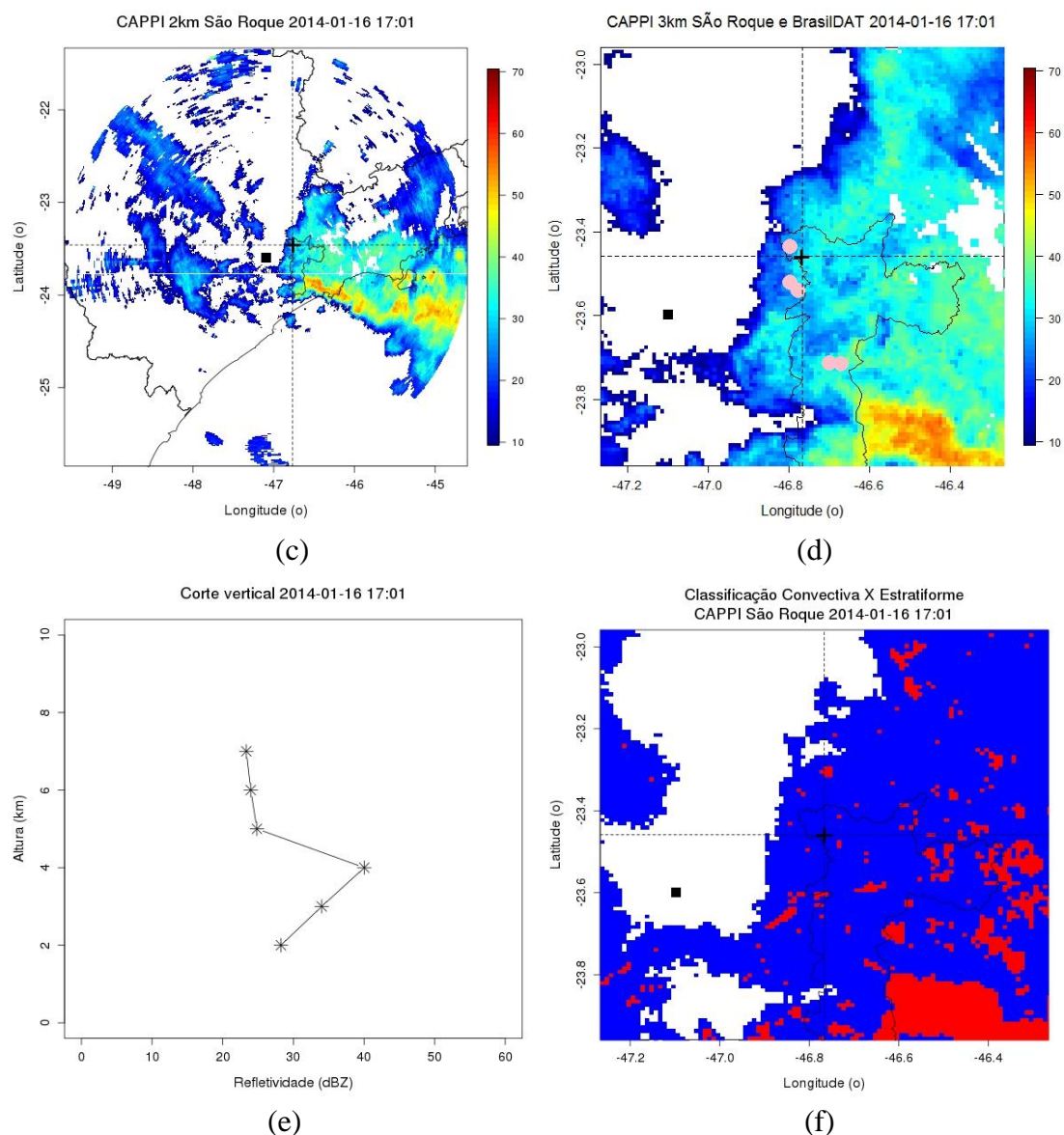


Figura 2. Dados de refletividade do radar (dBZ) do produto CAPPI do radar São Roque para o dia 16/01/2014 às 17:01 GMT com a altura em função da latitude (a), altura em função da longitude (b), respectivamente longitude e latitude fixas e torre do pico do Jaraguá marcado com “+” nas figuras; para o segundo nível (3 km) (c) com zoom de 2 graus ao redor da torre do pico do Jaraguá (marcado com “+” nas figuras) e plotagem de dados da BrasilDAT em um acumulado de +/- 1 segundo (em rosa) (d); valores de refletividade variando com a altura, plotados com latitude e longitude fixas nas coordenadas da torre do pico de Jaraguá (e); e classificação da precipitação em convectiva (= vermelho) e estratiforme (= azul) (f).

Os dias 23/10/2012, 08/03/2013, 08/09/2015 e 31/03/2016 também foram destaques no período estudado pela quantidade de raios ascendentes registrados respectivamente iguais a 10, 9, 12 e 13. Assim como em 16/01/2014, nesses dias pode-se identificar a presença da banda brilhante do radar e a classificação pelo método de Steiner et al. (1995) mostrou que a localidade em estudo estava na parte estratiforme da precipitação. De forma geral, tem-se reunido os resultados dos outros raios na tabela 1 que mostra a predominância da classificação

da precipitação como estratiforme, e na maior parte dos casos a banda brilhante do radar estava perceptível.

Tabela 1. Características gerais das tempestades que produziram os raios ascendentes.

Ano	Número de Raios Ascendentes	Classificação Convectiva x Estratiforme	Presença da banda brilhante do radar
2012	43	Estratiforme (43)	Sim (24) Não (19)
2013	17	Estratiforme (17)	Sim (15) Não(2)
2014	28	Estratiforme (25) Convectiva (3)	Sim (7) Não (21)
2015	30	Estratiforme (20) Convectiva (10)	-
2016	22	Estratiforme (21) Convectiva (1)	-

4. Conclusões

Portanto, pôde-se notificar 45 tempestades que produziram 140 raios ascendentes. E, destaca-se com o estudo uma preferência da ocorrência de raios ascendentes na região estratiforme dos sistemas convectivos no final do ciclo de vida de tempestades, quando a região de precipitação estratiforme está bem desenvolvida na maioria dos casos que tiveram a banda brilhante do radar perceptível. Nos eventos em que ela não estava evidente, mas os valores de refletividade eram menores que 40 dBZ e mostravam decréscimo com a altura, sugere-se que a precipitação estratiforme não estava bem definida na localização, podendo estar na região de transição entre as precipitações convectiva e estratiforme.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

- Berger, K. **Novel observation on lightning discharges: Results of research on Mount San Salvatore** , J. Franklin Inst., 283, 478 – 525, 1967.
- Hagenguth, J. H., and J. G. Anderson, 1952: **Lightning to the Empire State Building, part III**. Trans. Am. Inst. Electr. Eng., 71, 641–649.
- Machado L.A.T., Silva Dias, M.A.F., Morales, C., Fisch, G., Vila, D., Albrecht, R., Goodman, S.J., Calheiros, A.J.P, Biscaro, T., Kummerow, C. , Cohen, J., Fitzjarrald, D., Nascimento, E. L., Sakamoto, M.S., Cunningham, C., Chaboureaud, J.P., Petersen, W.A., Adams, D.K., Baldini, L., Angelis, C.F., Sapucci, L.F., Salio, P., Barbosa, H.M.J, Landulfo, E, Souza, R.A.F., Blakeslee, R.J., Bailey, J., Freitas, S., Lima, W.F.A., and Tokay, A., 2014: **The Chuva Project: How Does Convection Vary across Brazil?**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 1365–1380. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00084.1>
- McEachron, K. B. **Lightning to the Empire State Building** , J. Franklin Inst., 227, 1149 – 1217, 1939.

Morales, C. A., J. R. Neves, E. A. Moimaz, and K. S. Camara, 2014: **Sferics Timing And Ranging NETWORK – STARNET: 8 years of measurements in South America**. XV International Conference on Atmospheric Electricity, Norman, OK, USA.

Naccarato, A. C. V. SARAIVA, M. M. F. SABA, and C. SCHUMANN, 2012: **First performance analysis of BrasilDAT total lightning network in southeastern Brazil**. International Conference on Grounding and Earthing & 5th International Conference on Lightning Physics and Effects (2012).

Schumann, C. **Caracterização dos raios ascendentes a partir de observações de câmeras de alta resolução temporal e medidas de campo elétrico**, 2013. 26p. Proposta de Tese de Doutorado em Geofísica Espacial – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

Steiner, M., R.A. Houze Jr. e S.E.Yuter. **Climatological characterizations of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data**. J. Appl. Meteor.,34,1978 – 2007, 1995.

Uman, M. A., **The Lightning Discharge**. Academic Press, San Diego, CA, 1987. xii, 377 pp., International Geophysics Series, vol. 39