

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS
ATMOSFÉRICAS

Pedro Henrique Nakamura

**Eventos transientes luminosos em
sistemas convectivos de mesoescala sobre
a América do Sul**

São Paulo

2019

Pedro Henrique Nakamura

**Eventos transientes luminosos em
sistemas convectivos de mesoescala sobre
a América do Sul**

Relatório Final de Atividades de Pesquisa de Iniciação Científica referente ao período de agosto de 2018 a julho de 2019 - PIBIC/CNPq.

Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Rachel Ifanger Albrecht
Prof. Dr. Carlos Augusto Morales Rodriguez

São Paulo
2019

1 Introdução

Somente no Brasil, são registrados cerca de 110 milhões de raios totais (i.e., intra-nuvem e nuvem-solo) (Albrecht et al., 2016), sendo 50 milhões de raios do tipo nuvem-solo (Pinto et al., 2009), tornando o Brasil o país no qual mais se registra raios no mundo, principalmente devido à sua vasta extensão territorial tropical (Albrecht et al., 2016).

Menos comuns, os eventos transientes luminosos (TLE, sigla do inglês *transient luminous events*) são eventos ópticos de grande escala que ocorrem na estratosfera e mesosfera (i.e., baixa ionosfera) e estão diretamente relacionados à atividade elétrica em tempestades subjacentes na troposfera (Sentman et al., 1995; Sentman & Wescott, 1996; Pasko, 2010), como ilustra a Figura 1.

Relatos oculares de TLEs datam de mais de um século, porém a primeira imagem de um deles foi capturada somente no final da década de 1980 e desde então, vários tipos de TLEs foram documentados e classificados como (Pasko, 2010):

1. *Elves* (“elfos”): descargas induzidas por raios que podem se espalhar por 300 km lateralmente na alta ionosfera;
2. *Sprites*: descargas na base da ionosfera que se movem rapidamente para baixo com velocidades de até 10.000 km s⁻¹;
3. *Halos*: breves brilhos descendentes com extensão lateral de 40 a 70 km, que às vezes ocorrem simultaneamente ou precedem sprites mais estruturados;
4. *Blue Jets* (“jatos azuis”): fontes relativamente lentas de luminosidade azul que emanam do topo das tempestades até uma altitude de 40 km;
5. *Gigantic Jets* (“jatos gigantes”): descargas ascendentes do topo da nuvem que estabelecem um caminho direto de contato elétrico entre os topos das tempestades e a baixa ionosfera.

Enquanto a taxa de ocorrência de raios totais (i.e. intranuvem e nuvem-solo) é de 44 raios por segundo (Christian et al., 2003; Albrecht et al., 2016), observações de satélite, como do instrumento ISUAL a bordo do FORMOSAT-2 sugerem que os a taxa de ocorrência de *sprites* e *halos* no planeta é de ~ 1 evento por minuto e de *elves* ~ 35 eventos por minuto (Pasko, 2010).

2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a caracterização das propriedades físicas e elétricas dos sistemas convectivos de mesoescala (SCM) que produziram *sprites* e *gigantic jets* na América do Sul. Mais especificamente, será estudada a distribuição espacial e temporal da ocorrência desses TLEs na América do Sul, a fim de produzir o primeiro mapa de frequência de ocorrência de TLEs nesta região. Também serão estudados o ciclo de vida dessas tempestades através da evolução temporal e espacial da precipitação e atividade elétrica.

3 Metodologia

Primeiramente, foram obtidos todos os dados de TLEs registrados pela rede BRAMON (Brazilian Meteor Observation Network) até o dia 31/12/2018. O primeiro TLE registrado pela BRAMON ocorreu em 21/01/2015, portanto o período de estudo considerado vai de 21/01/2015 a 31/12/2018. Os dados se encontram no formato KML e dispõem a data/hora, latitude, longitude e altitude de cada evento. O formato KML é baseado no padrão XML e é aplicado na exibição de dados geográficos em um navegador da Terra, como o Google Earth.



Figura 1 – *Sprite* registrado pela rede BRAMON em 25 de janeiro de 2018 sobre o Rio Grande do Sul, com câmera SCB-5000 (HD) utilizando lente 50mm (FOV 5,5°), sem filtro IR.

Além disso, foram obtidas as áreas de captura de todas as estações da rede BRAMON. Cada estação da BRAMON possui uma câmera e cada câmera possui uma área de captura, isto é, a área monitorada pela câmera daquela estação. Essa área é delimitada por um trapézio isósceles cuja base menor é a localização da câmera em si. Assim como os TLEs, as coordenadas de latitude e longitude dos 4 vértices do trapézio estão contidas em um arquivo no formato KML.

Para análise espacial e temporal, foram necessárias as informações de latitude, longitude, data e hora de cada evento, além da área de captura das estações. Essas informações foram extraídas a partir de um programa no RStudio com o auxílio da biblioteca *mapprools* (Bivand & Lewin-Koh, 2013). Para a produção do mapa de frequência, foi utilizado o software *Generic Mapping Tools* (Wessel & Smith, 2001).

Por fim, foi estudado o ciclo de vida das tempestades que provocaram grandes quantidades de TLEs. Dentre os 117 dias em que houveram registros de TLEs pela BRAMON, foi escolhido o dia 02/07/2018, por conta dos 138 TLEs registrados em menos de 7 horas, o que corresponde ao dia com a maior quantidade de eventos. Para a análise espacial e temporal da tempestade em questão, foram produzidas figuras a partir dos dados de TLEs da BRAMON e descargas elétricas do STARNET. De modo complementar, foram utilizadas imagens infravermelho do satélite GOES-16.

4 Resultados e análise

No período de 21/01/2015 a 31/12/2018, foram registrados 1379 TLEs pelas estações da rede BRAMON. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial desses eventos e a área de captura de todas as estações. Ao todo, foram consideradas 98 estações, portanto 98 áreas de captura. Para facilitar a visualização, as 98 áreas foram combinadas em três áreas macro, uma vez que a inserção das 98 áreas isoladas poderia dificultar a interpretação do mapa. Cabe destacar que a área de captura depende de uma série de fatores, como FOV e altura de apontamento em relação ao horizonte, desta maneira algumas estações possuem áreas de captura maiores do que outras.

A partir da Figura 2, é possível verificar uma concentração de TLEs entre as latitudes -25 e -35 . Além disso, é possível observar TLEs em território boliviano, que estão fora da área de captura. A ocorrência desses eventos pode estar relacionada com o desligamento de uma estação ou um erro no cálculo da área de captura.

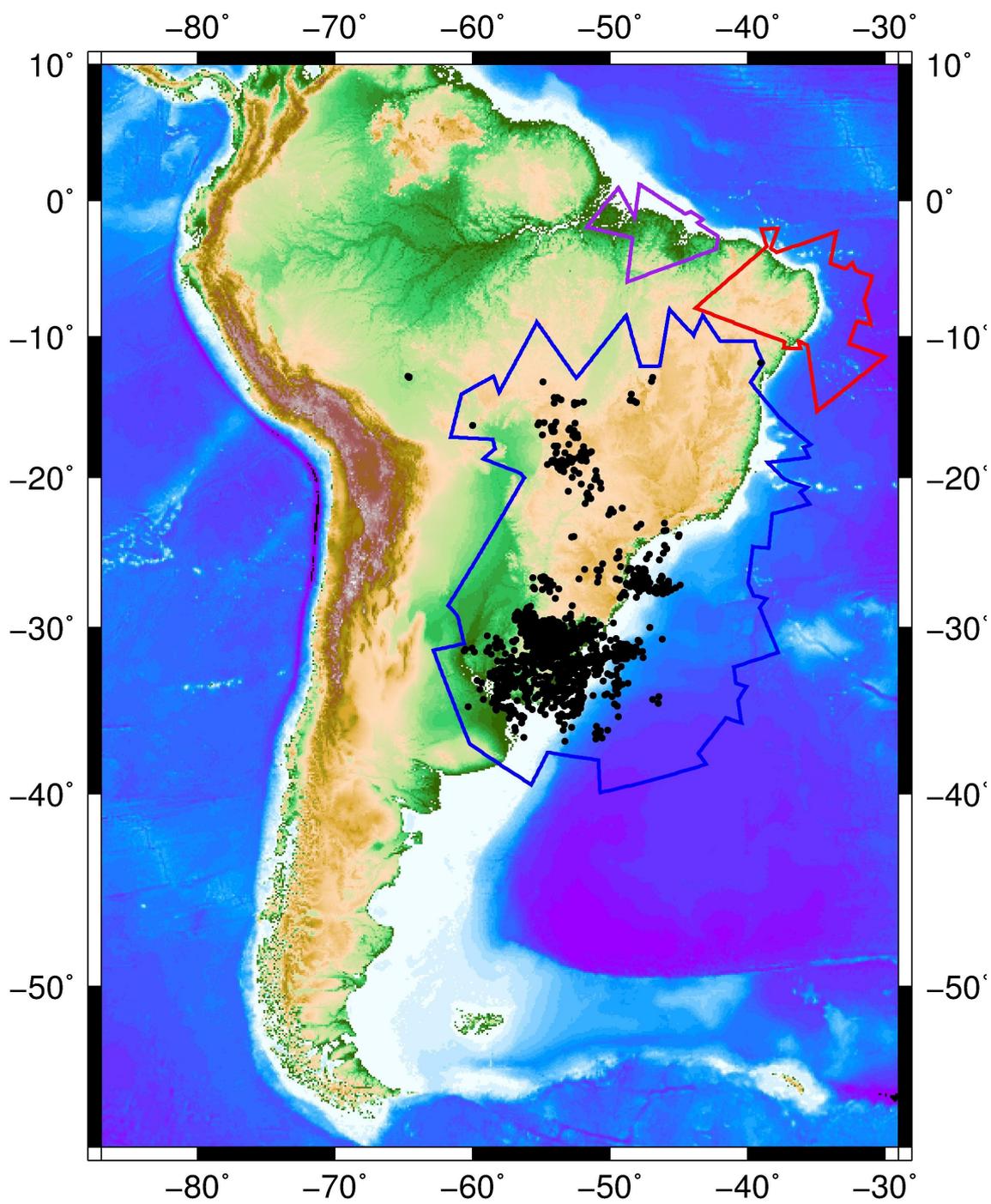


Figura 2 – Mapa de frequência de ocorrências de TLEs na América do Sul. As três áreas delimitadas - azul, vermelha e roxa - representam a união das 98 áreas de capturas de todas as estações da rede BRAMON.

A Tabela 1 mostra a quantidade de TLEs registrados pela BRAMON em cada ano.

Ano	Quantidade de TLEs
2015	4
2016	11
2017	779
2018	585

Tabela 1 – Distribuição anual de TLEs registrados pela BRAMON.

A partir da Tabela 1, é possível observar uma quantidade expressivamente maior de TLEs registrados nos anos de 2017 e 2018. A baixa quantidade de TLEs registrados nos anos de 2015 e 2016 estão associadas com o pequeno número de estudos de TLEs na América do Sul, uma vez que esses eventos são menos comuns do que os raios e exigem campanhas científicas específicas.

A Tabela 2, apresenta a quantidade de TLEs registrados de acordo com a posição de ocorrência do evento e o mês do ano. TLEs que foram registrados em território uruguaio, argentino ou paraguaio foram categorizados na região Sul do Brasil, e TLEs registrados em território boliviano foram categorizados na região Norte do Brasil.

Mês	Norte	Nordeste	Centro	Sudeste	Sul
Jan	0	0	12	16	78
Fev	4	1	20	5	93
Mar	3	0	42	3	22
Abr	0	0	0	1	87
Mai	0	0	5	0	153
Jun	0	0	0	0	3
Jul	0	0	0	1	221
Ago	0	0	0	1	303
Set	0	0	0	0	15
Out	0	0	0	0	124
Nov	0	0	1	4	69
Dez	1	0	15	0	76
Total	8	1	95	31	1244

Tabela 2 – Distribuição mensal e regional de TLEs registrados pela BRAMON.

Com base na Tabela 2, é possível observar um número demasiadamente maior de TLEs registrados na região Sul, uma vez que essa região detém 1244 dos 1379 TLEs registrados no período. Cabe destacar que, a baixa ocorrência de TLEs na região Norte pode estar relacionada com a não observação desses eventos, uma vez que existem poucas estações da BRAMON monitorando essa região.

A Figura 3 apresenta a distribuição de TLEs ao longo dos 12 meses do ano, levando em consideração a região dos eventos.

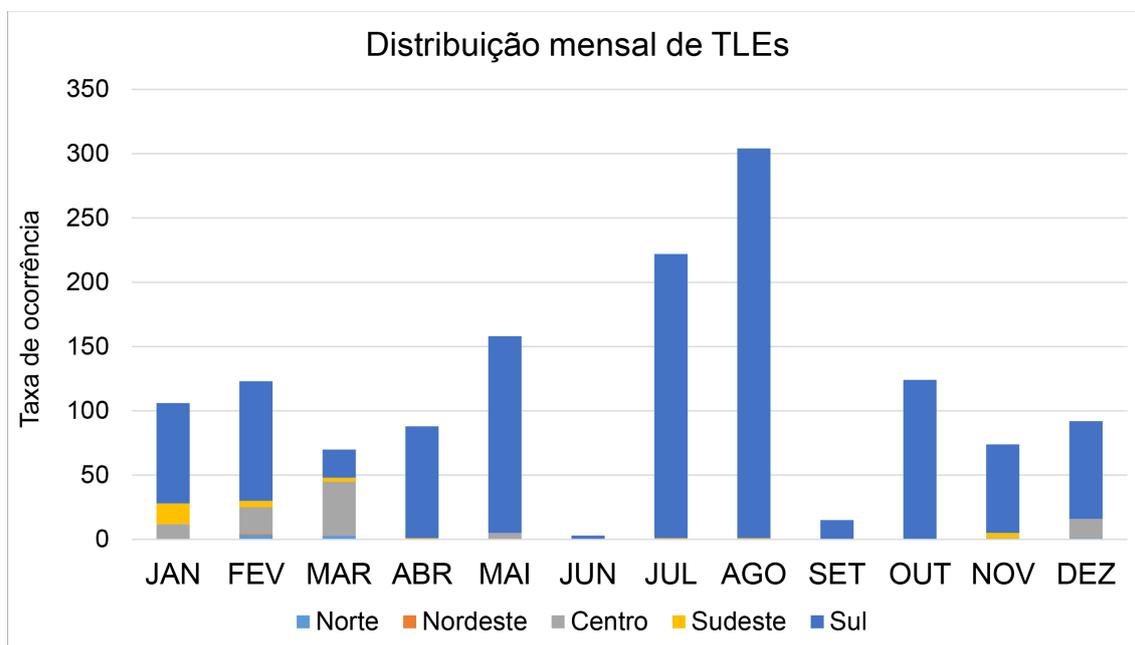


Figura 3 – Distribuição mensal de TLEs registrados pela BRAMON no período de 21/01/2015 a 31/12/2018.

Na Figura 3, observa-se que agosto e julho foram os meses com a maior taxa de ocorrência de TLEs. Em contrapartida, junho e setembro foram os meses que apresentaram a menor taxa de ocorrência desses eventos.

A Figura 4 apresenta novamente a distribuição de TLEs ao longo dos 12 meses do ano, levando em consideração a região dos eventos, porém as colunas empilhadas representam a porcentagem de TLEs registrados naquela região em relação ao total para aquele mês.

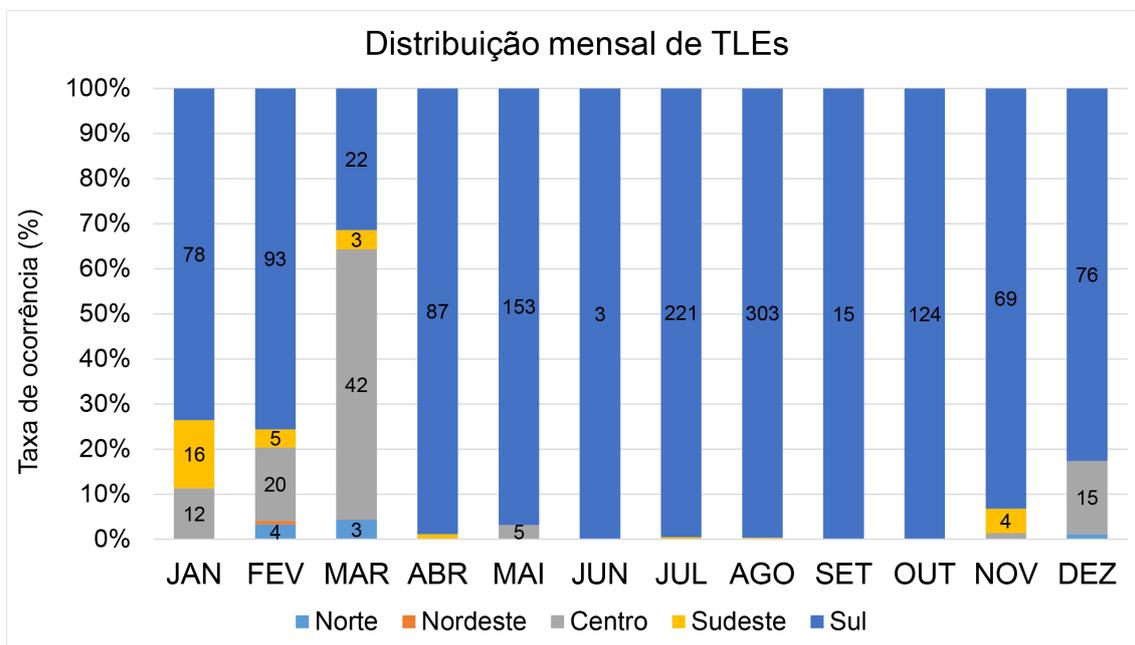


Figura 4 – Distribuição mensal de TLEs registrados pela BRAMON no período de 21/01/2015 a 31/12/2018. Os números sobrepostos nas colunas representam os números absolutos de TLEs registrados no mês e região específicos.

Analisando a Figura 4, pode-se observar que a predominância de TLEs na região Sul ocorre em todos os meses do ano, exceto o mês de março, onde a predominância de TLEs ocorre na região Centro-Oeste do país.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial, enquanto a Figura 6 apresenta a distribuição temporal das descargas elétricas e TLEs registrados na tempestade do dia 02/07/2018. Para delimitar a área de estudo, calculou-se o ponto médio de todos os TLEs registrados no período de 02:00:00 UTC a 09:00:00 UTC e, a partir disso, foram somados 5 graus para norte, sul, leste e oeste. Ao todo, são 20041 descargas elétricas e 138 TLEs registrados no período de tempo e espaço considerados.

Descargas eléctricas e TLEs
02/07/2018 02:00:00 UTC a 02/07/2018 09:00:00 UTC

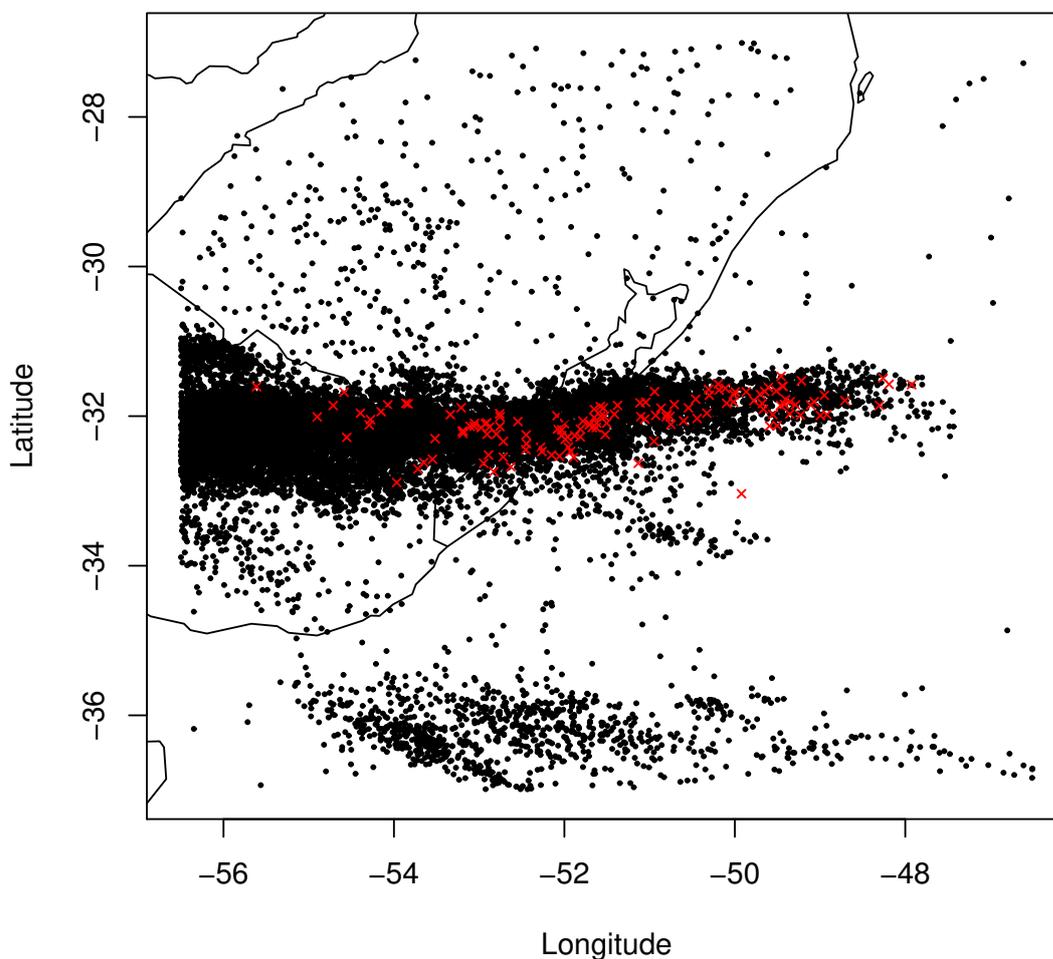


Figura 5 – Distribuição espacial de descargas eléctricas e TLEs. Os pontos pretos representam as descargas eléctricas e os demais, TLEs.

Com base na Figura 5, é possível observar que os TLEs se concentram na latitude -32, que coincide com a latitude onde registrou-se o maior número de descargas eléctricas. Em termos de longitude, os TLEs estão deslocados para leste, quando comparados com a faixa longitudinal com maior número de descargas.

Descargas eléctricas e TLEs 02/07/2018

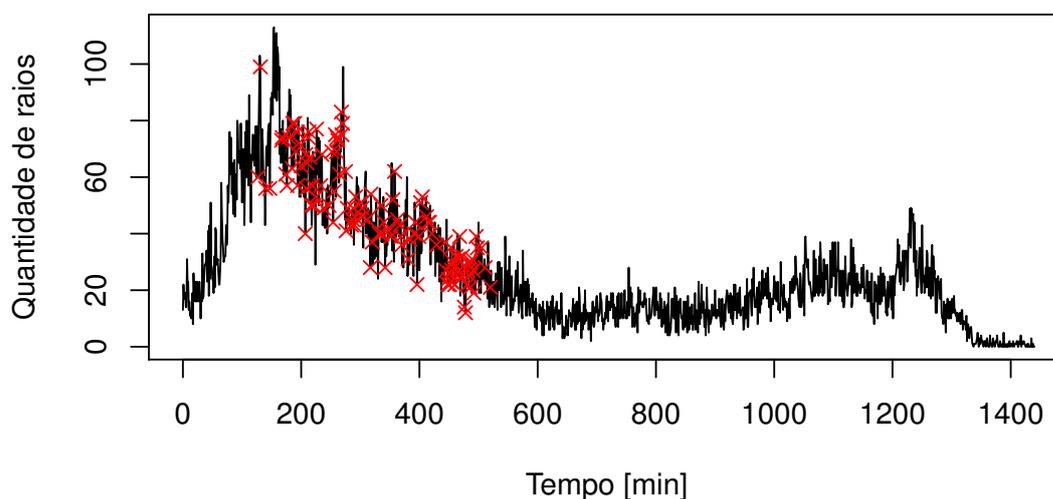


Figura 6 – Distribuição temporal de descargas eléctricas e TLEs. A linha preta representa a quantidade de descargas eléctricas por minuto e os pontos X em vermelho indicam que um ou mais TLEs ocorreram naquele minuto.

Com base na Figura 6, é possível observar que os TLEs estão concentrados imediatamente após ao instante com maior quantidade de descargas eléctricas registradas.

A partir das Figuras 7 e 8, é possível verificar a evolução temporal e espacial da tempestade entre 07:00:00 UTC e 08:00:00 UTC, que corresponde à hora com maior registro de TLEs. Na Tabela 3, estão descritas as quantidades de descargas eléctricas e TLEs apresentadas na Figura 8.

Tempo (UTC)	Descargas	TLEs
07:00:00 - 07:14:59	539	2
07:15:00 - 07:29:59	446	5
07:30:00 - 07:44:59	436	9
07:45:00 - 07:59:59	360	9

Tabela 3 – Quantidade de descargas eléctricas e TLEs registrados entre 07:00:00 UTC e 08:00:00 UTC do dia 02/07/2018.

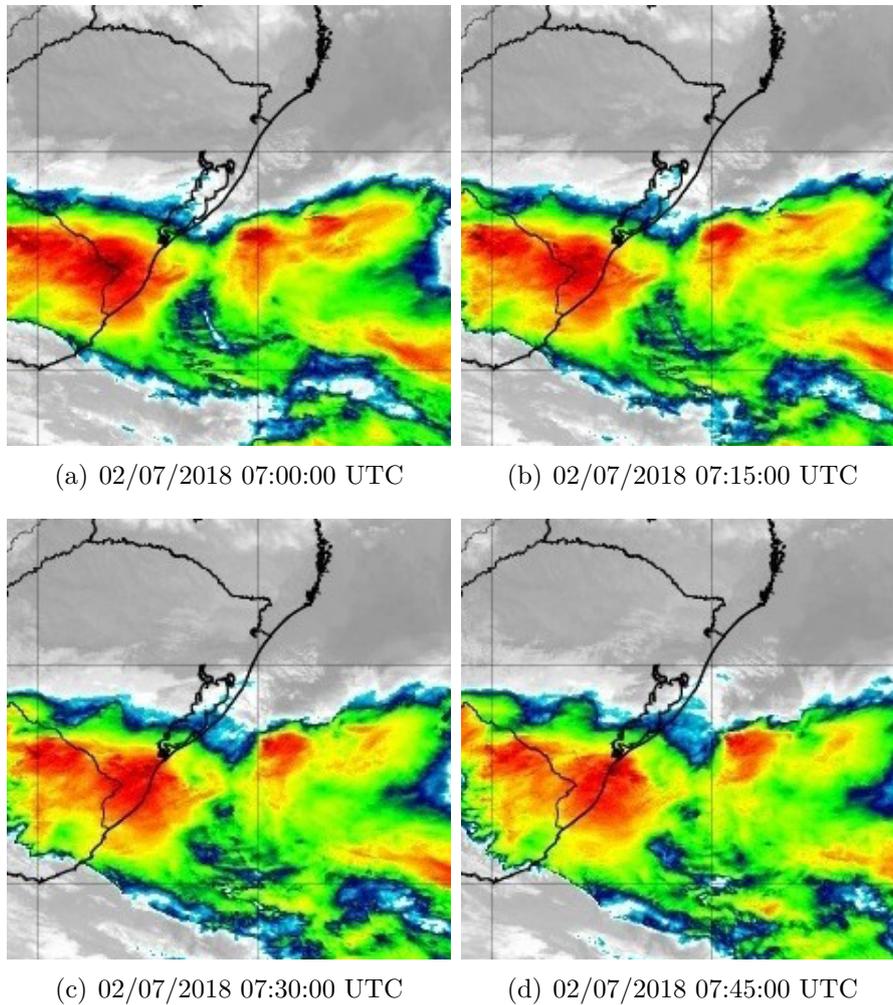


Figura 7 – Imagens do satélite GOES-16, mais especificamente o canal 13, referente ao infravermelho térmico.

Na Figura 7a, a região mais brilhante indica que o topo da nuvem é mais frio e, conseqüentemente, a intensidade da tempestade é maior. Nas figuras seguintes, a região mais brilhante começa a se dispersar e deslocar para leste.

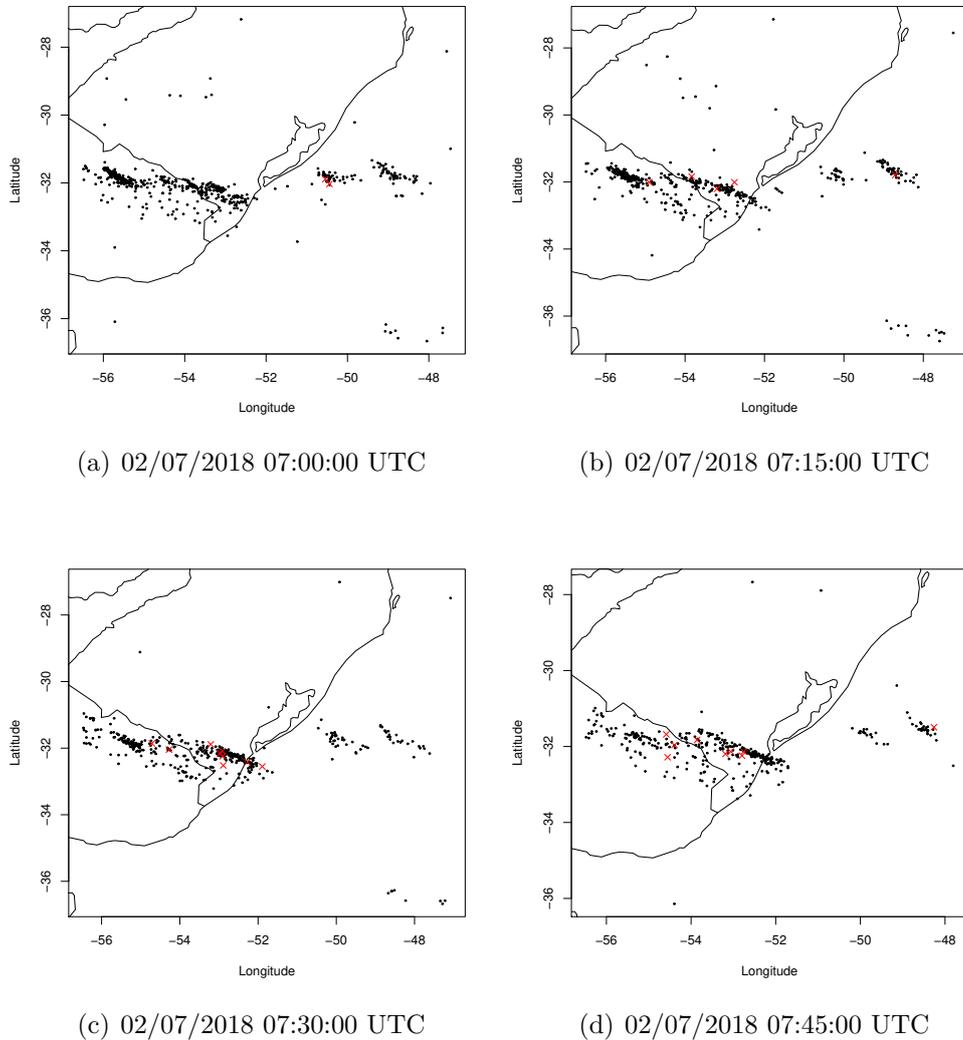


Figura 8 – Evolução temporal de descargas elétricas do STARNET.

Na Figura 8a, as descargas elétricas ocorrem com maior frequência e proximidade entre si, enquanto nas figuras seguintes, elas são menos frequentes, mais dispersas e deslocadas para leste, assim como observado nas imagens de satélite. Em contrapartida, os TLEs aparecem com menor frequência na Figura 8a e maior frequência nas figuras seguintes. Nas Figuras 8b, 8c e 8d, os TLEs estão localizados entre as longitudes -52 e -55. Já na Figura 8a, os TLEs estão localizados entre as longitudes -50 e -51.

5 Conclusão

A partir do mapa de frequência de ocorrência de TLEs, é possível observar uma grande concentração de TLEs na região Sul do Brasil, mais especificamente no Rio Grande de Sul, e também no Uruguai. Além disso, foi observado um predomínio desses eventos nos meses de julho e agosto. Cabe destacar que, um período de 4 anos não é suficiente para estabelecer a climatologia dos TLEs na América do Sul, mas possibilita um estudo inicial acerca desses eventos.

A partir do estudo do ciclo de vida da tempestade no dia 02/07/2018, pode-se dizer que a ocorrência de TLEs está associada com regiões de elevada atividade elétrica, uma vez que esses eventos ocorrem na mesma latitude onde estão concentradas as descargas elétricas. Além disso, a ocorrência de TLEs é verificada quando a atividade elétrica de uma tempestade, isto é, quantidade de descargas elétricas por minuto, já atingiu o seu cume e começa a decrescer. De modo complementar, as cartas sinóticas feitas pelo CPTEC apresentaram um escoamento em altos níveis, que provoca uma divergência de massa e induz a convergência em níveis inferiores, contribuindo para a formação de nuvens convectivas e descargas elétricas, o que está de acordo com a análise feita para este dia.

Como continuidade deste trabalho, poderão ser estudadas a distribuição espacial e temporal de TLEs no ano de 2019. Ademais, poderão ser estudadas outras tempestades que apresentaram grandes quantidades de TLEs nos anos de 2017 ou 2018, a fim de validar as conclusões deste estudo.

Referências

- Albrecht, R. I., Goodman, S. J., Buechler, D. E., Blakeslee, R. J., & Christian, H. J. (2016). Where are the lightning hotspots on earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, *97*(11), 2051–2068.
- Bivand, R. & Lewin-Koh, N. (2013). maptools: Tools for reading and handling spatial objects. *R package version 0.8*, 27.
- Christian, H. J., Blakeslee, R. J., Boccippio, D. J., Boeck, W. L., Buechler, D. E., Driscoll, K. T., Goodman, S. J., Hall, J. M., Koshak, W. J., Mach, D. M., et al. (2003). Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *108*(D1), ACL–4.
- Pasko, V. P. (2010). Recent advances in theory of transient luminous events. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, *115*(A6).
- Pinto, O., Pinto, I. R., Saba, M. M., & Naccarato, K. P. (2009). Cloud-to-ground lightning observations in brazil. In *Lightning: Principles, Instruments and Applications* (pp. 209–229). Springer.
- Sentman, D. & Wescott, E. (1996). Red sprites and blue jets: High-altitude optical emissions linked to lightning. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *77*(1), 1–5.
- Sentman, D. D., Wescott, E. M., Osborne, D., Hampton, D., & Heavner, M. (1995). Preliminary results from the sprites94 aircraft campaign: 1. red sprites. *Geophysical research letters*, *22*(10), 1205–1208.
- Wessel, P. & Smith, W. H. (2001). The generic mapping tools. URL: <http://gmt.soest.hawaii.edu/>(visited on 14/02/2013).(Cit. on p. 71).