



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GIA/15

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

**CARACTERIZAÇÃO DE TEMPESTADES COM POTENCIAL DE TOMBAMENTO DE TORRES DE
TRANSMISSÃO DE ENERGIA**

**Tábata F. V. B. de Miranda (*) José Eduardo Gonçalves Eduardo Alvin Leite
SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ (SIMEPAR)**

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram analisar as correlações existentes entre variáveis meteorológicas em eventos de tempestades críticos na região de Cascavel e caracterizar tempestades associadas a quedas de torres de transmissão no Paraná. As tempestades foram, em sua maioria, caracterizadas por serem do tipo TS. Tempestades TS possuem núcleos mais intensos e escala espacial de poucos quilômetros, o que dificulta efetuar o seu registro através de dados coletados por estações meteorológicas de superfície. Devido a isto, torna-se necessário o acompanhamento destes sistemas atmosféricos através do uso de radares e de sistemas de detecção de descargas atmosféricas.

PALAVRAS-CHAVE

Torres de Transmissão, Monitoramento, Rajadas, Tempestades.

1.0 - INTRODUÇÃO

Na sociedade atual as linhas de transmissão de energia elétrica são consideradas componentes essenciais do sistema de infraestrutura nacional. Sua função é a de transmitir a eletricidade gerada nas fontes de produção até subestações elétricas e, posteriormente, através das redes de distribuição para o consumidor final (3). Para sua transmissão regular e contínua é necessária a construção de estruturas composta por diversos componentes, tais como torres, cadeias de isoladores, fundações, cabos, entre outros. A falha de qualquer desses elementos pode conduzir à perda de capacidade de transmissão de energia do sistema (1).

As estruturas de linhas de transmissão, por sua extensão e exposição se mostram vulneráveis, principalmente, aos efeitos de fenômenos meteorológicos, que dependendo do grau de severidade, podem representar um risco a estas estruturas (2 e 3). Segundo (2), tempestades severas, associadas a altas taxas de precipitação, à formação e precipitação de granizo, a formação de rajadas de vento intensas e alta incidência de descargas atmosféricas, são as principais causas de danos estruturais aos sistemas de transmissão de energia elétrica, o que pode causar desde ruptura de cabos até ao colapso de uma ou mais torres de transmissão de energia. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar as correlações existentes entre pluviosidade, números de descargas elétricas e a ocorrência de rajadas em eventos de tempestades considerados críticos na região de Cascavel, bem como caracterizar tempestades associadas a eventos de quedas de torres de transmissão de energia no Estado do Paraná.

(*) Centro Politécnico da UFPR – C.P. 19100 – CEP 81531-980 – Curitiba, PR, – Brasil
Tel: (+55 41) 3320-2000 – Fax: (+55 41) 3366-2122 – Email: miranda.tabata@gmail.com

2.0 - METODOLOGIA DE ESTUDO

Para alcançar os objetivos propostos nesse trabalho, foram utilizados quatro tipos de fontes de informações: (1) dados de quedas de torres, fornecidos pela Companhia Paranaense de Energia (Copel); (2) dados de variáveis meteorológicas de estações de superfície; (3) dados de descargas atmosféricas obtidas do sistema de detecção de raios e (4) imagens de refletividade do radar meteorológico, pertencentes ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Com base nessas informações, eventos de tempestades na região de Cascavel – PR, entre 2009 a 2016, foram identificados e analisados com o intuito de determinar a correlações entre forçantes meteorológicas (rajadas, pluviosidade e descargas elétricas) em eventos de tempestades considerados críticos. Em conjunto, registros de quedas de torres de transmissão de energia em todo o Paraná, no período de 2008 a 2016, foram também analisados. Dados de estações meteorológicas só foram considerados na análise para distâncias inferiores a 10km em relação à coordenada da queda de torres. Para os outros casos foram utilizados somente os dados do radar meteorológico e do sistema de raios.

Neste trabalho, tempestades críticas foram caracterizadas por apresentarem rajadas com intensidade iguais ou superiores a 25 m/s (90 km/h). Com a identificação dos eventos de tempestades, dados de pluviosidade e o número de descargas elétricas, ambos em um período de 6 horas (3 horas antes e 3 horas depois do momento de rajada máxima), foram também analisados, a fim de encontrar correlações entre estas variáveis e a passagem das rajadas na região.

3.0 - EVENTOS DE TEMPESTADES ANALISADOS

Durante o período de dados analisados (12/03/09 a 12/08/16), foram encontrados sete eventos de tempestades em Cascavel que apresentaram velocidades de rajadas superiores a 25 m/s (Tabela 1). Destes eventos, em dois casos ocorreram quedas de torres na região. Os eventos onde houve queda de torres são descritos com maiores detalhes.

Tabela 1 – Eventos de tempestades críticas na região de Cascavel-PR

Evento	Vel. Rajada (m/s)	Precipitação (mm/15min)	Hora Precipitação Max.	Descargas Elétricas*
01 - 24/10/2009 às 16:45	26,5	2,5	15:30	2492
02 - 07/10/2010 às 08:30	29,9	4,5	08:00	802
03 - 19/08/2011 às 01:15	32,4	9,0	01:15	478
04 - 30/10/2012 às 17:30	37,4	9,0	17:30	228
05 - 17/12/2012 às 19:30	28,2	9,8	19:45	78
06 - 24/09/2015 às 19:45	28,8	4,5	19:45	2136
07 - 12/07/2016 às 00:00	28,6	10,0	00:00	2111

*Número máximo de raios registrados em um intervalo de uma hora durante o período analisado (3 horas antes e 3 horas depois do momento da rajada máxima).

3.1 Evento 03 - 19/08/2011 às 01:15 horas (GMT)

No evento do dia 19 de agosto de 2011, sete torres de transmissão de energia tombaram após a passagem de um sistema que gerou rajadas de até 32,4 m/s, velocidade registrada a 10m de altura na estação meteorológica de Cascavel (localizada a cerca de 4 km das torres). A Figura 1 apresenta a relação entre as velocidades das rajadas e a precipitação ocorrida durante o evento. Observa-se que o pico de precipitação máximo (cerca de 9,0mm/15min) ocorreu no momento da rajada máxima registrada.

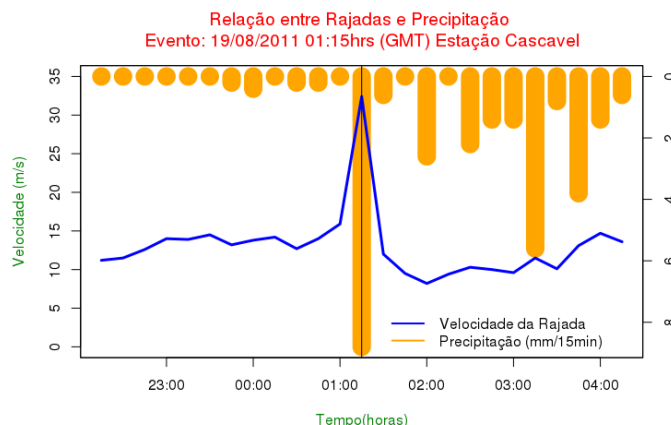


FIGURA 1 – Relação entre rajadas e precipitação evento 03.

A Figura 2 apresenta a imagem do radar no momento de rajada máxima registrada. A escala de cores na imagem representa o índice de refletividade dBZ. No registro do radar não foi possível observar um sistema meteorológico forte (cores quentes) atuando na região no momento de rajada máxima. Isso se deve ao fato do registro disponível pertencer ao radar meteorológico de Teixeira Soares que se localiza distante (cerca de 330 km) da região onde ocorreu a queda das torres, e, portanto, só obteve imagens do topo das nuvens que passavam pelo local. Entretanto é possível notar uma grande tempestade atuando desde o norte de Santa Catarina até oeste do Paraná.

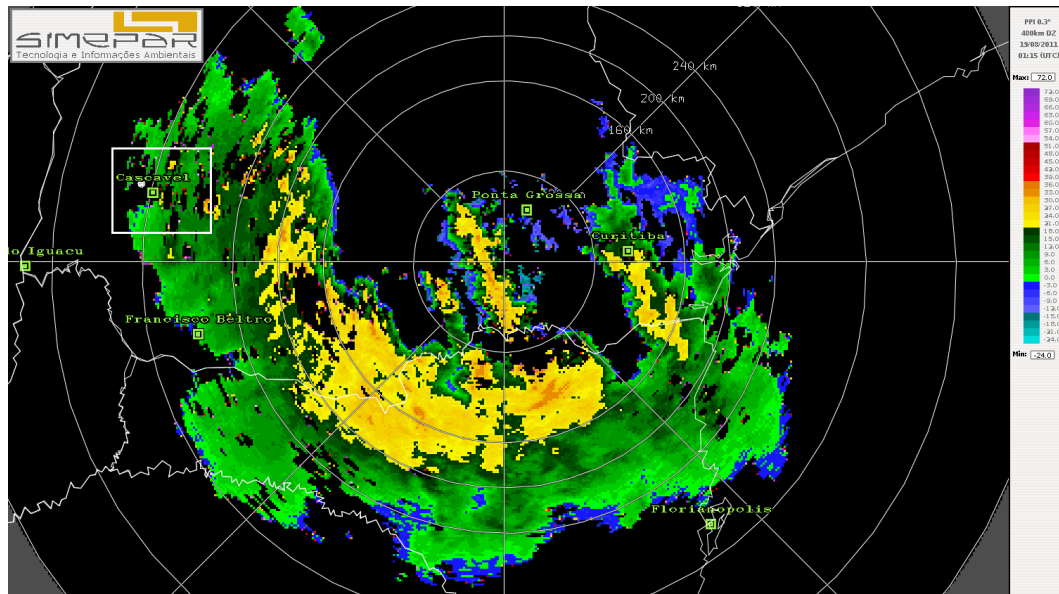


FIGURA 2 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento 03. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

Registros do número de descargas elétricas ocorridas no período analisado (3 horas antes e 3 horas depois do evento) são apresentados na Figura 3. As setas coloridas indicam núcleos de tempestades significativos e seus respectivos percursos. Os pontos em tons de amarelo indicam descargas elétricas próximas (amarelo claro) ou no momento (amarelo escuro) da rajada máxima. Pontos em cinza indicam descargas após o evento. Nota-se que seis núcleos atuaram na região, sendo que o núcleo (setas em marrom) mais próximo do momento da queda das torres apresentou o valor máximo registrado de 478 descargas elétricas, no intervalo de uma hora durante o período estudado.

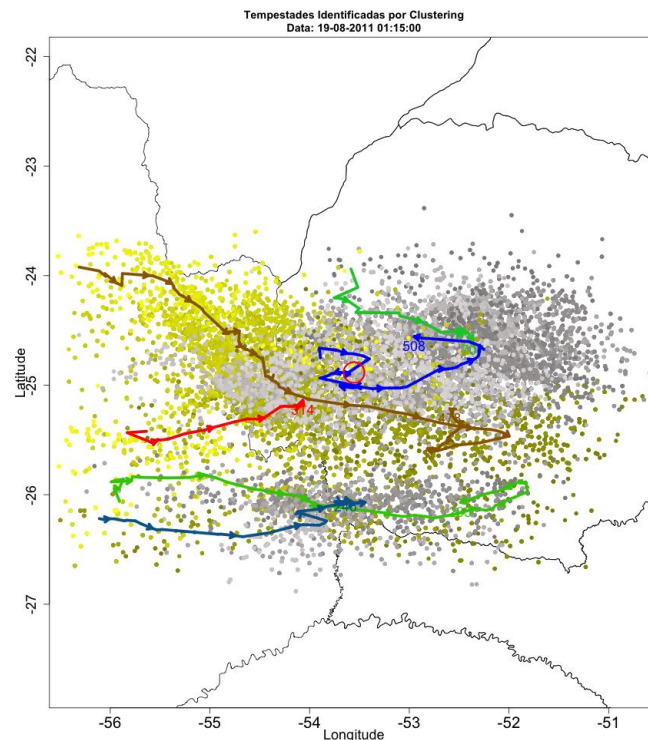


FIGURA 3 – Núcleos de tempestades significativos no momento do evento 07. Círculo em vermelho indica o local da queda da torre.

3.2 Evento 07 - 12/07/2016 às 00:00 horas (GMT)

No evento ocorrido no dia 12/07/16 às 00:15, uma torre de transmissão de energia colapsou após sofrer a ação de fortes rajadas de vento. Registros da estação meteorológica de Cascavel apresentaram o valor máximo de 28,6m/s às 00:00 (Figura 4) do dia do evento, enquanto que, o anemômetro sônico instalado a 44 m de altura na torre de transmissão vizinha (localizada a 500 m de distância), registrou a velocidade de 32,6 m/s. Analisando a Figura 4, que mostra a relação entre as rajadas e a precipitação durante o evento, é possível observar, assim como no evento 03, que o pico de pluviosidade máxima (10,0 mm/15min) ocorreu no mesmo momento da rajada máxima.

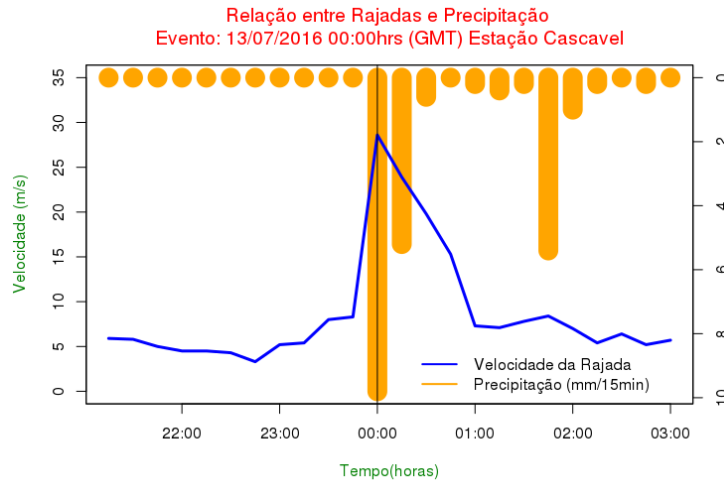


FIGURA 4 – Relação entre rajadas e precipitação evento 02.

Na figura 5 é apresentada a imagem do radar meteorológico de Cascavel no momento da rajada máxima registrada. Quando analisadas imagens do radar próximo (cerca de 15 km) ao local do evento, é possível observar que uma nuvem de tempestade extremamente forte, representada pelas cores vermelha e roxa, atuava sobre a região no momento da queda da torre. Quando analisados os núcleos de tempestades, observou-se, a passagem de seis núcleos na área estudada, sendo que o núcleo mais próximo do local e do momento da queda (setas em vermelho) apresentou a quantidade máxima de 2111 descargas elétricas.

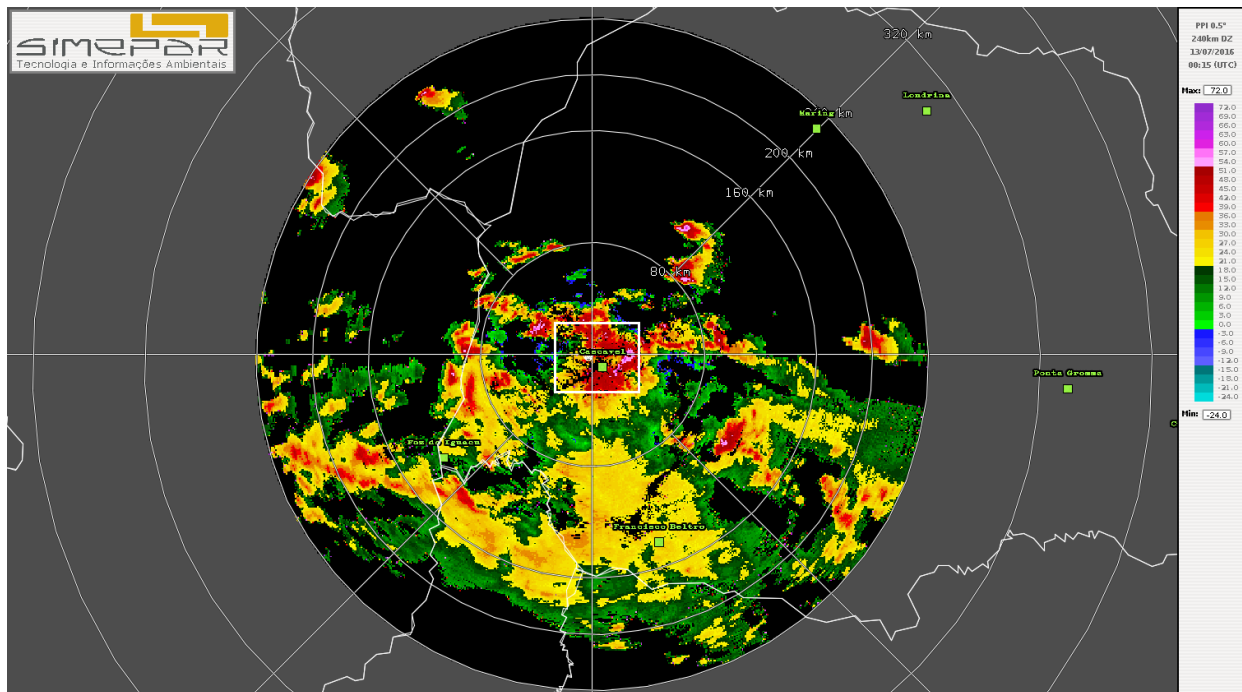


FIGURA 5 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento 02. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

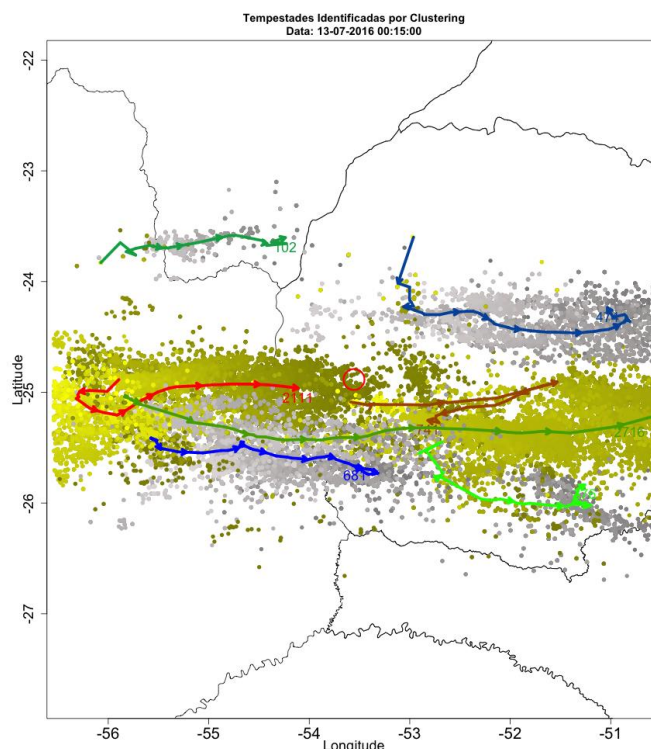


FIGURA 6 – Núcleos de tempestades significativos no momento do evento 07. Círculo em vermelho indica o local da queda da torre.

4.0 - EVENTOS DE QUEDAS DE TORRES ANALISADOS

Analizando os registros de quedas de torres de transmissão de energia da Copel, durante o período de 2008 a 2016, foram encontrados seis eventos de quedas de torres no Paraná (Figura 7):



FIGURA 7 – Localização dos eventos de quedas de torres de transmissão de energia no Paraná, durante os anos de 2008 a 2016.

a. Evento de Queda 01: No dia 29/10/2008 às 18:15 quatro torres de transmissão de energia elétrica colapsaram após a passagem de uma tempestade na região oeste do Paraná (Figura 8). Imagens do radar meteorológico

mostraram um grande sistema passando pela região no momento do evento, cobrindo grande parte de Santa Catarina e o oeste paranaense. Devido a distância do radar, de cerca de 320 km do local da queda, e da indisponibilidade de imagens no momento da queda não é possível confirmar o grau de intensidade da tempestade que atuava no local. Entretanto, em imagens anteriores (não apresentadas) é possível observar que o núcleo mais intenso da tempestade (cores quentes) se deslocava em direção ao local das quedas. Com relação aos núcleos significativos de tempestades, o núcleo que passou sobre a região no período analisado registrou o valor máximo de 1352 de descargas elétricas em uma hora.

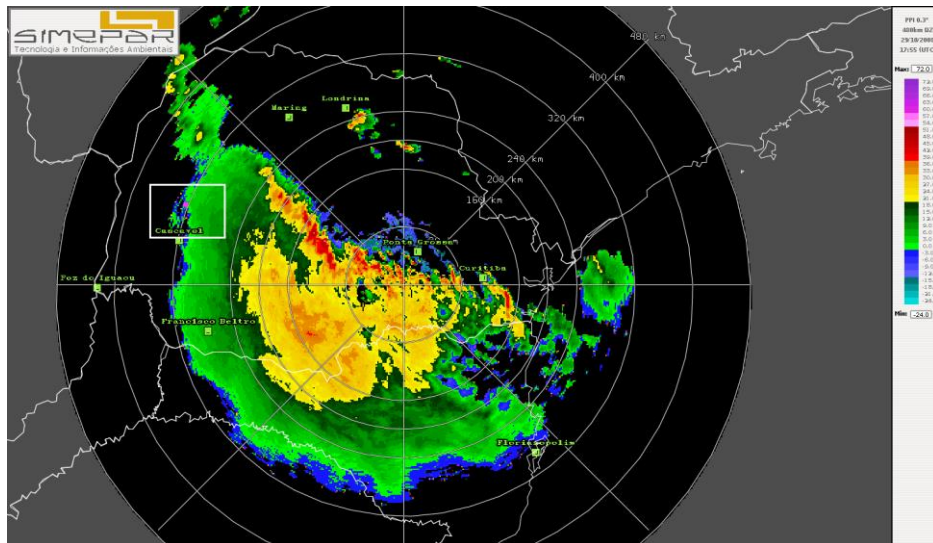


FIGURA 8 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento de queda 01. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

b. Evento de Queda 02: Três torres de transmissão foram danificadas após a passagem de uma tempestade no dia 09/02/2010 às 00:15 horas próximo a cidade de Ponta Grossa. A Figura 9, apresenta a imagem do radar de Teixeira Soares, localizado 33 km de distância das torres de transmissão, onde é possível observar um sistema intenso (cores quentes) atuando no local no momento das quedas. Apesar do registro do radar, a quantidade de descargas elétricas (94) no período não foi significativa (Figura 10).

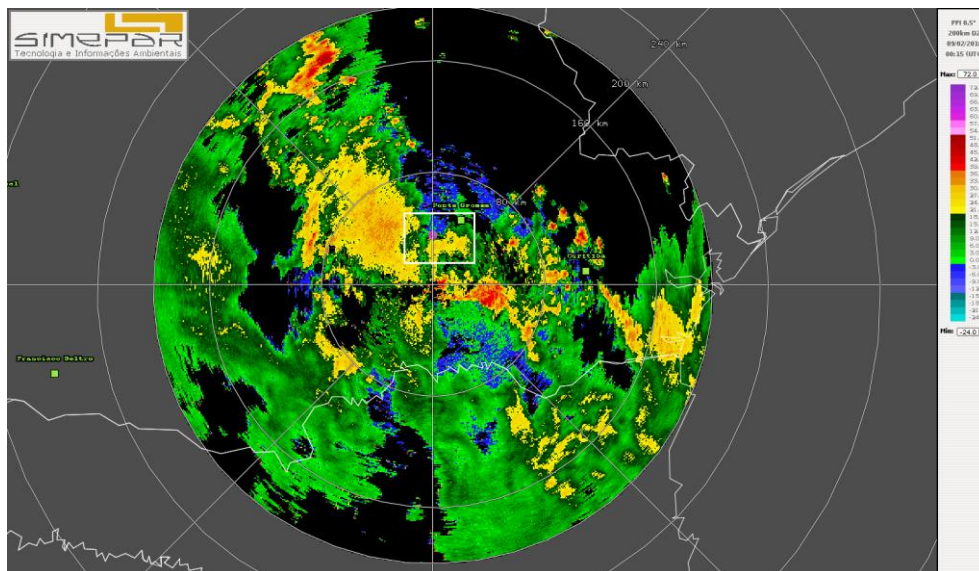


FIGURA 9 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento de queda 02. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

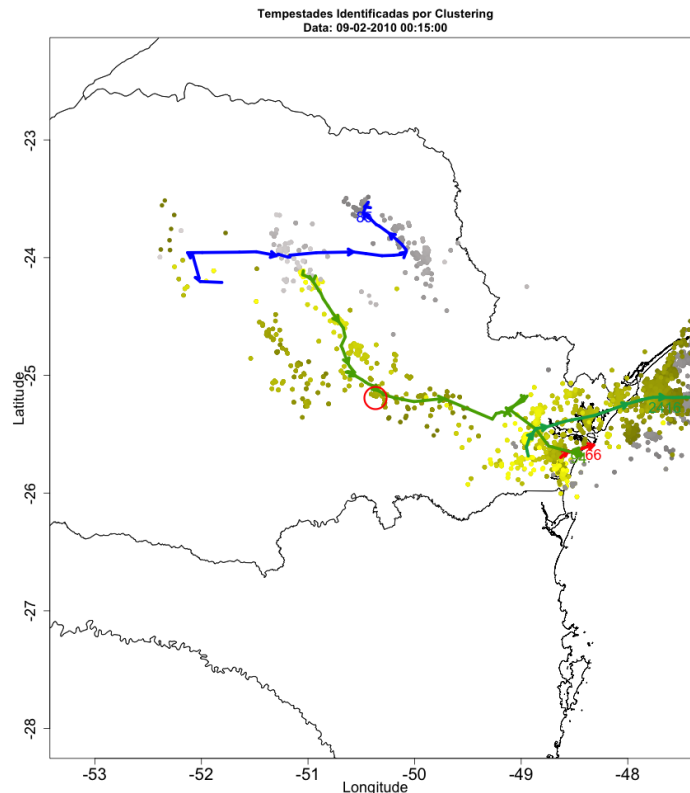


FIGURA 10 – Núcleos de tempestades significativas no momento do evento de queda 02. Círculo em vermelho indica o local da queda da torre.

c. Evento de Queda 03: No dia 09/11/2010 às 20:54 horas ocorreu a queda de uma torre de transmissão na região de oeste, próximo a cidade de Maringá. Imagens do radar (Figura 11) mostram um forte sistema passando pelos estados de Santa Catarina e Paraná. Sendo os pontos mais severos da tempestade na região norte de Santa Catarina e oeste do Paraná. A tempestade que mais se aproximou do local analisado apresentou a quantidade máxima de 611 descargas elétricas.

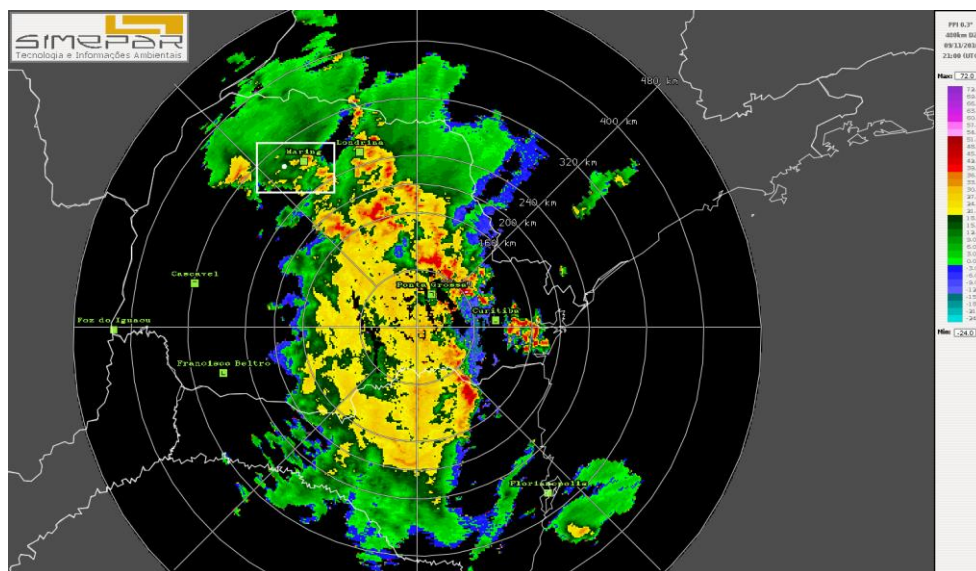


FIGURA 11 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento de queda 03. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

d. Evento de Queda 04: Coincide com o evento de tempestade 03 - 19/08/2011 às 01:15 horas (já descrito na seção 3.1).

e. Evento de Queda 05: No dia 25/10/2011 às 19:27 três torres foram danificadas após uma tempestade passar pela região de Jacarezinho, no norte do Estado. A Figura 12 apresenta a imagem do radar, localizado a cerca de 300km de distância do local do evento. Observa-se que um grande sistema meteorológico atuando no litoral de

Santa Catarina e do Paraná e no norte paranaense seguindo em direção ao estado de São Paulo. Cerca de 30 minutos antes da queda, imagens, não apresentadas do radar meteorológico, mostram que o núcleo mais intenso da tempestade (em amarelo) estava atuando próximo a região do evento de queda. Quando analisados os núcleos de tempestades, observou-se, a passagem de cinco núcleos na área estudada, sendo que o núcleo que atuou no local e no momento da queda apresentou a quantidade máxima de 590 descargas elétricas.

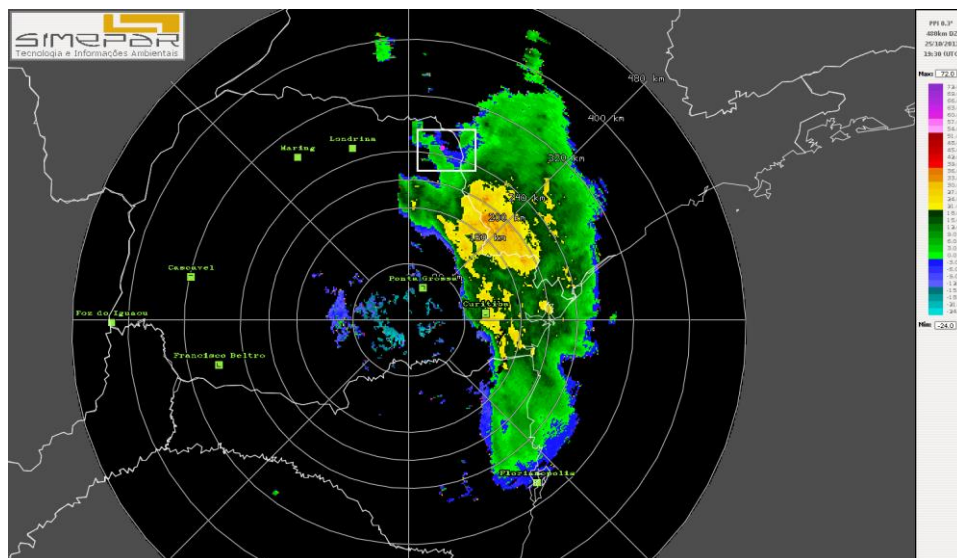


FIGURA 12 – Imagem do radar meteorológico no momento do evento de queda 05. Retângulo em branco sinaliza a região do evento.

f. Evento de Queda 06: Coincide com o evento de tempestade 07 - 13/07/2016 às 00:00 (já descrito na seção 3.2).

5.0 - CONCLUSÃO

As informações apresentadas demonstram que os registros de precipitação máximas ocorreram no momento ou minutos (até 30 minutos) antes da passagem da rajada máxima. Imagens do radar mostraram que os casos de quedas de torres de transmissão estavam sempre associados a presença de grandes sistemas meteorológicos no sul do país. A maioria dos casos de quedas de torres ocorreram na região oeste do Paraná (Figura 7). Quando comparados os eventos de quedas ocorridos no oeste paranaense com as outras localidades, nota-se que, as tempestades no Oeste são mais severas. Fato que pode ser observado quando analisadas os núcleos de tempestades significativas, que são mais intensos e consequentemente produziram maior número de descargas elétricas no oeste do Estado (Figura 6) do que os núcleos significativos que atuam no leste paranaense (Figura 10).

Estudos demonstram que as regiões oeste do sul e sudoeste brasileira são frequentemente atingidas por sistemas meteorológicos do tipo de instabilidade, supercélulas e sistemas convectivos, que possuem a capacidade de gerar rajadas com intensidades superiores a 25 m/s. Através da análise de imagens do radar meteorológico, e de outros eventos meteorológicos, que também apresentaram rajadas intensas, identificou-se que, geralmente, o surgimento das tempestades que atuam na região oeste paranaense ocorre na região leste do Paraguai, principalmente as tempestades do tipo TS (Thunderstorms - Tempestades Elétricas).

As tempestades associadas a eventos de quedas de torres foram, em sua maioria, caracterizadas por serem do tipo TS. Essas tempestades se caracterizam por possuírem núcleos mais intensos, mesclados em no seu interior. Esses núcleos possuem escala espacial de poucos quilômetros e aparecem nas imagens dos radares como áreas de alta refletividade. A pequena dimensão espacial desses núcleos, explica a dificuldade de efetuar o registro de sua presença exclusivamente com dados coletados por estações meteorológicas de superfície.

Devido a isto, torna-se necessário o acompanhamento destes sistemas atmosféricos através do uso de imagens de radares e dos sistemas de detecção de descargas atmosféricas em conjunto com as estações telemétricas. Estas informações permitem o monitoramento contínuo dos fenômenos meteorológicos, e são importantes para a avaliação e acompanhamento dos eventos atmosféricos e também na elaboração de previsões, a curto prazo, para que esses eventos causem o menor transtorno possível na operação das redes de transmissão elétrica como um todo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BENTES, J. L., Análise dinâmica da ruptura de cabos em torres autoportantes e estaiadas de linhas de transmissão. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 2013.
- (2) JUSEVICIUS M., BENETI C., CALVETTI L., Análise meteorológica de eventos de queda de torres de transmissão de energia elétrica no Estado do Paraná. Em SNPTEE – Seminário Nacional de Produção de Transmissão de Energia Elétrica. 2007.
- (3) LUZARDO A. C., Simulação do comportamento dinâmico de torres de linhas de transmissão sob ação de ventos originados de downburst. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 2016.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Tábata Fernanda Vilas Boas de Miranda

Nascida em Curitiba, PR em 30 de setembro de 1990.

Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (2016): UFPR e Graduação em Oceanografia (2014): UFPR

Atualmente é bolsista do Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR. Tem experiência na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Física, Interações entre Oceano-Atmosfera e Meteorologia.

José Eduardo Gonçalves

Nascido em Pompéia, SP em 11 de setembro de 1966.

Doutorado em Oceanografia (2000): USP, Mestrado em Oceanografia (1993): USP e Graduação em Física (1990): UEL

Atualmente é pesquisador do Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, onde desenvolve projetos relacionados ao monitoramento ambiental com o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

Eduardo Alvim Leite

Nascido Carangola, MG em 26 de dezembro de 1959.

Doutorado em Engenharia Civil (2008): UFRJ, Mestrado em Administração (1994): UFPR e Graduação em Engenharia Elétrica (1982): UFJF.

Atualmente é diretor presidente do Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR. Já atuou como analista de sistemas, engenheiro, pesquisador, gerente e diretor de instituições tecnológicas. Possui como áreas de concentração a Administração da Inovação, Sistemas de Informações Ambientais e Modelos de Tomada de Decisão sob Incertezas.