



RELATÓRIO PREPARADO PELO ELAT A PEDIDO DO MINISTÉRIO PÚBLICO

Incidência de descargas atmosféricas associadas à interrupção de suprimento de energia elétrica ocorrida no dia 10/11/2009 na região do sistema Itaipu

RESUMO

Este relatório descreve em detalhes a incidência de descargas atmosféricas na região do sistema Itaipu no dia 10/11/2009, as características das descargas atmosféricas no horário da interrupção de suprimento de energia elétrica ocorrida neste dia, por volta das 22:13 hora local, e as probabilidades de que as linhas do sistema Itaipu e a subestação de Itaberá tenham sido atingidas diretamente por descargas atmosféricas.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório descreve em detalhes a incidência de descargas atmosféricas na região do sistema Itaipu no dia 10/11/2009, as características das descargas atmosféricas associadas à interrupção de suprimento de energia elétrica ocorrida por volta das 22:13 hora local deste dia e as probabilidades de que as linhas do sistema Itaipu e a subestação de Itaberá tenham sido atingidas diretamente por descargas atmosféricas.

Tal análise foi realizada utilizando-se dois aplicativos computacionais desenvolvidos pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), denominados SAAD e NetRaios 2. O SAAD utiliza dados de descargas da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat) para analisar a probabilidade de que uma descarga atinja diretamente uma dada linha ou subestação. O sistema considera as características da BrasilDat e o estado da arte do conhecimento sobre descargas atmosféricas. Já o NetRaios 2 é um software de visualização e análise de dados de descargas atmosféricas operando num ambiente georeferenciado.

O relatório analisa não só os dados de descargas atmosféricas que ocorreram próximos ao período do evento de interrupção, como também os dados ao longo de todo o dia na região do sistema de Itaipu.

Cabe observar que, climatologicamente, esta região possui uma densidade média de incidência de descargas atmosféricas de cinco descargas por quilômetro quadrado por ano, valor que pode ser considerado abaixo da média brasileira de seis descargas por quilômetro quadrado por ano. No país, observam-se valores de densidade de descargas entre uma e 15 descargas por quilômetro quadrado por ano. A densidade na região das linhas de Itaipu permite estimar que cada uma das linhas entre Foz do Iguaçu e Itaberá é em média atingida por descargas atmosféricas uma vez a cada dois dias.

2. REDE BrasilDat

A rede BrasilDat é composta por 49 sensores de descargas (este número deve aumentar para 54 com a instalação em fase final de mais cinco sensores nos estados do Mato Grosso e Rondônia), que operam na faixa de baixa frequência (LF), cobrindo as regiões sul, sudeste, centro-oeste e uma pequena parte das regiões nordeste e norte do país. Devido a não homogeneidade de seus sensores e de sua configuração, a rede apresenta variações regionais em suas características de desempenho, entre elas sua eficiência de detecção (ED) e precisão de localização (PL) das descargas. Tais características, além de possuírem variações regionais, podem apresentar variações temporais em função do estado de operação da rede, isto é, da operação de seus sensores em um dado período. A avaliação do desempenho da rede em uma dada região e período é realizada por um modelo de eficiência de detecção desenvolvido pelo INPE (Ref. 1). A Figura 1 mostra os sensores da BrasilDat que estavam atuando durante o período da interrupção de suprimento de energia elétrica. Exceto um sensor em Santa Catarina e o sensor de Jupuíá, todos os demais sensores próximos ao sistema Itaipu estavam operando normalmente. Cabe destacar que dois novos sensores do tipo LS8000 de alta sensibilidade passaram a operar no oeste do Paraná em janeiro de 2009, fazendo com que o desempenho da rede na detecção de descargas nuvem-solo nos estados do Paraná e sul de São Paulo fosse melhorado ainda mais desde janeiro de 2009.

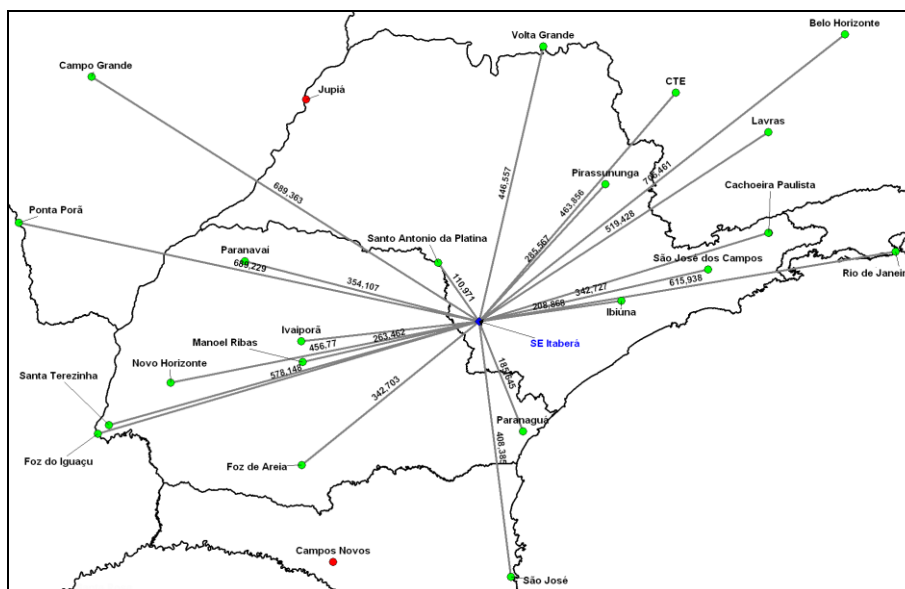


Figura 1 – Sensores da BrasilDat próximos da região do sistema de Itaipu e operando (em verde) durante o período em torno do horário da interrupção de suprimento de energia elétrica.

O desempenho da BrasilDat na detecção de descargas nuvem-solo pode ser verificado na Figura 2, onde é mostrada a eficiência de detecção total da rede na região do sistema de Itaipu para o período da interrupção de suprimento de energia elétrica. Pode-se observar que a ED total da rede ao longo do sistema de Itaipu é de 85%, o que significa que 85% das descargas que ocorrem são registradas. Caso sejam consideradas somente as descargas com intensidade acima de 25 kA (Figura 3), este valor de eficiência de detecção aumenta para praticamente 100%. Isto significa dizer que todas as descargas acima de 25 kA são registradas. Por outro lado, a PL média na região do sistema de Itaipu no período da interrupção de suprimento de energia elétrica era de 500 metros, variando de valores máximos de cerca de 1 km e valores mínimos de 0,1 km.

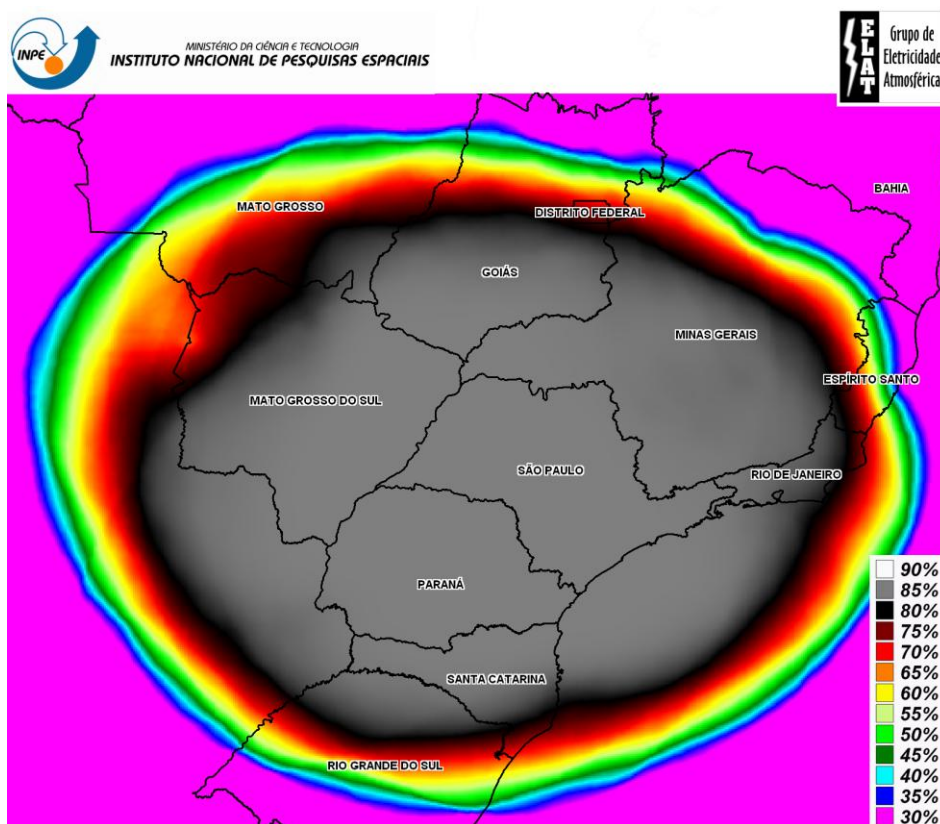


Figura 2 – Eficiência de detecção da BrasilDat na região do sistema de Itaipu para o período em torno do horário da interrupção de suprimento de energia elétrica.

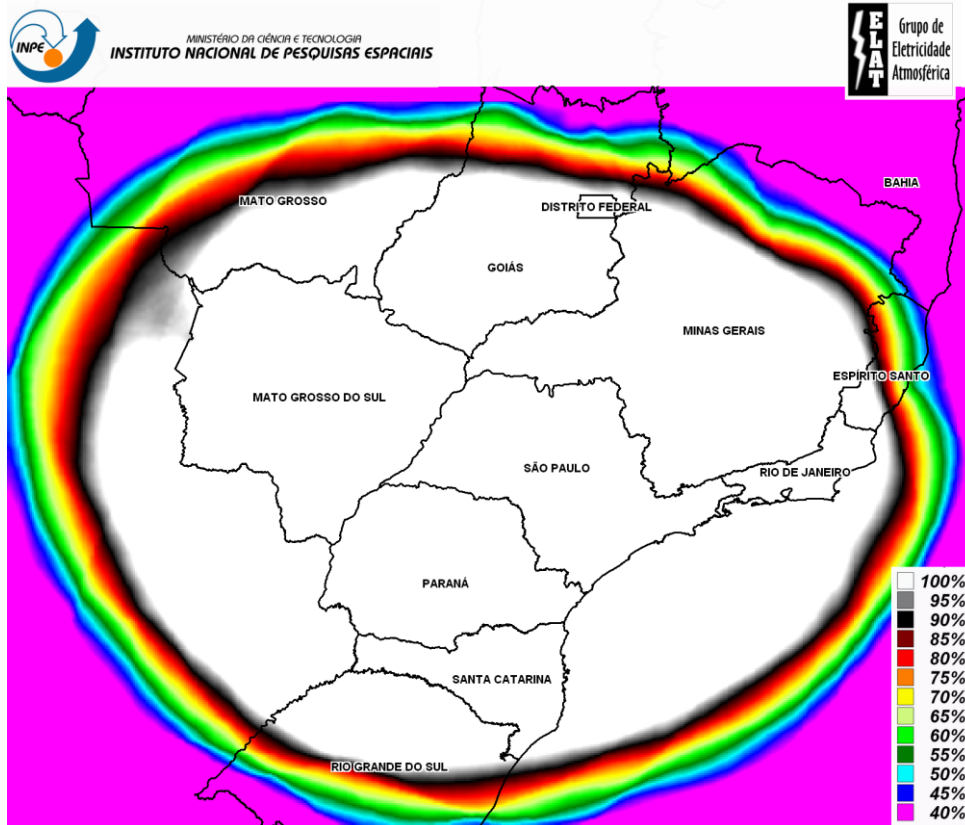


Figura 3 – Eficiência de detecção da BrasilDat na região do sistema de Itaipu para o período em torno do horário da interrupção de suprimento de energia elétrica para descargas acima de 25 kA.

3. SISTEMA SAAD

O sistema SAAD consiste em um sistema computacional desenvolvido pelo ELAT para avaliar a probabilidade de que uma descarga atmosférica atinja diretamente uma linha de transmissão ou subestação (Ref. 2,3). Seu desenvolvimento foi planejado logo após a ocorrência da interrupção de suprimento de energia elétrica de 1999, com a finalidade de prover ao país uma ferramenta precisa e ágil de análise deste tipo de evento. O sistema fez parte de um projeto desenvolvido através do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel. O projeto foi considerado como um dos projetos de destaque do programa, tendo sido publicado na Revista Aneel de P&D. Em 2006, o sistema foi colocado em fase de teste e a partir de 2007 o sistema passou a ser usado de forma operacional. O SAAD leva em consideração todas as incertezas associadas aos registros da BrasilDat para a região e horário do evento analisado e também analisa o estado da arte no conhecimento sobre as características físicas das descargas (Ref. 4), tais como multiplicidade, polaridade, intensidade, trajetória na atmosfera da descarga e distribuição espacial de descargas individuais. Diferentemente de uma análise com base exclusivamente nas descargas detectadas pela BrasilDat, o SAAD permite atribuir uma probabilidade não nula de que uma linha de transmissão ou subestação seja atingida por uma descarga atmosférica, independentemente de sua intensidade, mesmo se nenhuma das descargas registradas pela BrasilDat intercepta (considerando o erro de localização associado) uma dada linha de transmissão ou subestação, em função do fato de que a rede BrasilDat não detecta todas as descargas de fraca intensidade. Para tal, o SAAD leva em conta as características espaciais e temporais das descargas observadas em um grande número de tempestades. A Figura 4 mostra a interface do sistema SAAD.

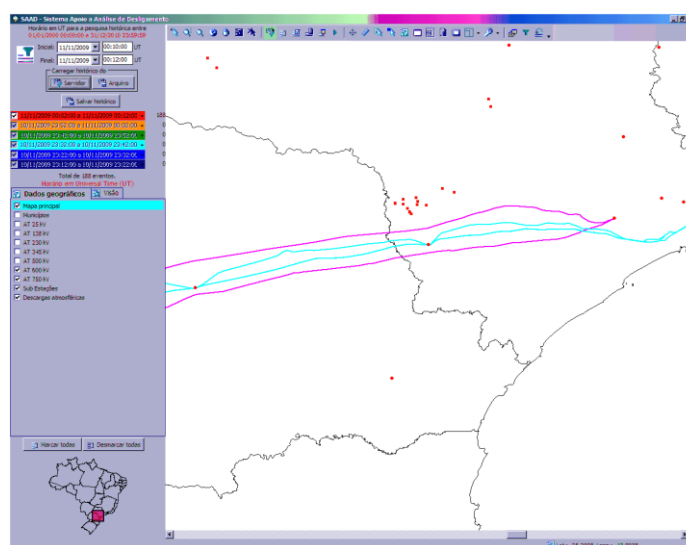


Figura 4 – Exemplo da interface do sistema SAAD para uma análise realizada durante o dia 10 de novembro de 2009.



Como resultado da análise, o SAAD estima uma probabilidade de que uma descarga atmosférica atinja uma dada linha de transmissão ou uma dada subestação investigada.

4. AVALIAÇÃO

A análise descrita a seguir é dividida em quatro partes: a primeira corresponde ao período entre 11:30 e 23:30 (hora local) do dia 10/11/2009, sem detalhar o período da interrupção de suprimento de energia elétrica; a segunda ao período das 22:03 às 22:23; a terceira considera o período da interrupção de suprimento de energia elétrica em detalhes; e a quarta considera a probabilidade de três descargas terem atingido as linhas de 750 kV. Fazem parte deste relatório dois anexos contendo as descargas registradas pela BrasilDat entre 13:00 e 14:00 hora local (Anexo 1) e 22:09 e 22:19 hora local (Anexo 2).

4.1 Análise geral das descargas durante o dia 10 de novembro de 2009

A Figura 5 mostra as descargas que ocorreram no sistema de Itaipu entre 11:30 e 23:30 (hora local) no dia 10/11/2009, indicando uma grande quantidade de descargas na região do sistema Itaipu, enquanto que a Figura 6 mostra três eventos em que as linhas de transmissão oriundas de Itaipu foram muito provavelmente atingidas por descargas relativamente intensas (31 kA a 58 kA) entre às 17:14 e 19:18 hora local. Na Figura 6, os horários das descargas estão indicados em hora universal (UT) e a intensidade em kA. A Figura 7 mostra a localização das descargas atmosféricas registradas no dia 10 de novembro de 2009 próximas as linhas de transmissão do sistema Itaipu (até um quilômetro em relação as linhas de 600 kV) e a evolução temporal do número destas descargas ao longo do dia. Pode-se observar que o número de descargas é máximo por volta das 18:00 hora local sendo relativamente baixo no horário da interrupção de suprimento de energia elétrica.

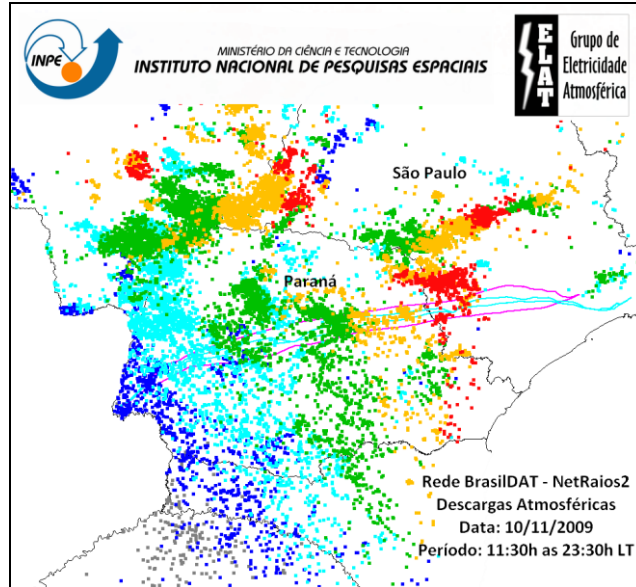
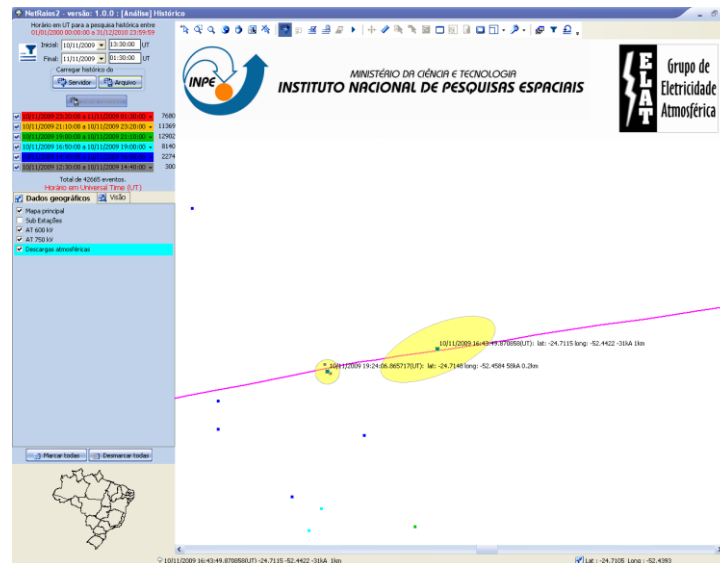
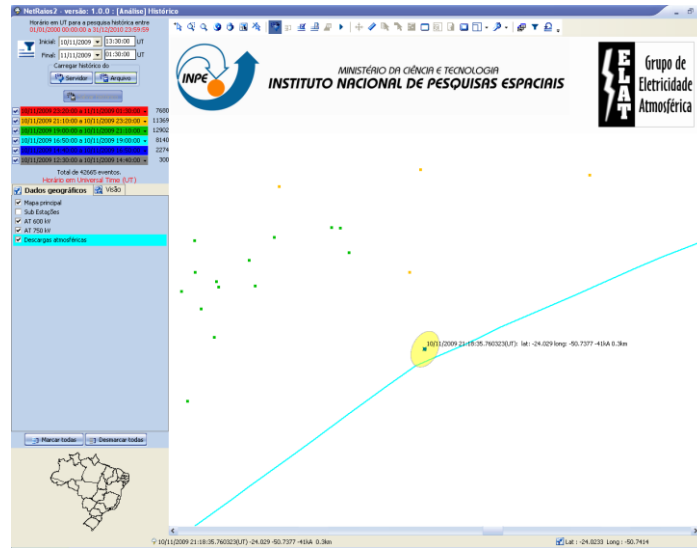


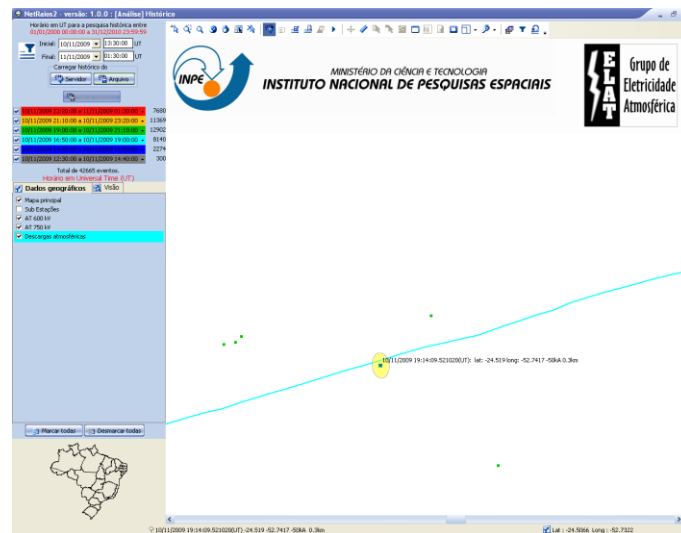
Figura 5 – Eventos de descargas registrados entre 11:30 e 23:30 hora local do dia 10/11/2009. As diferentes cores indicam diferentes intervalos de tempo.



(a)

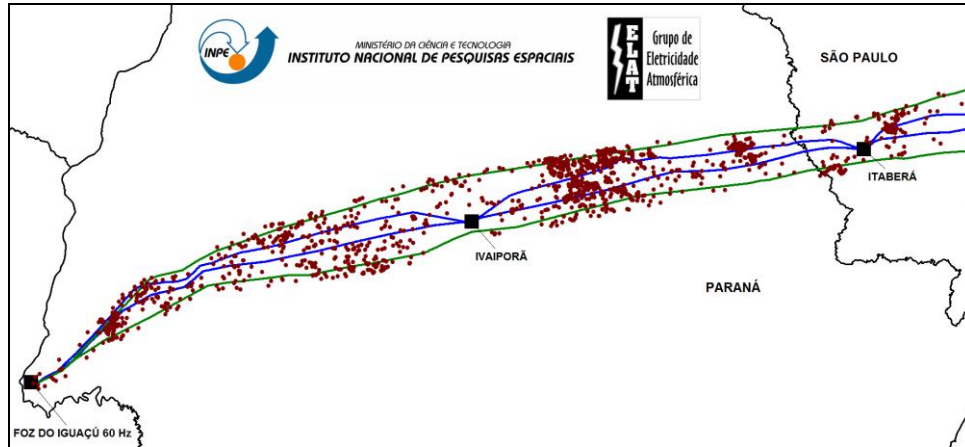


(b)

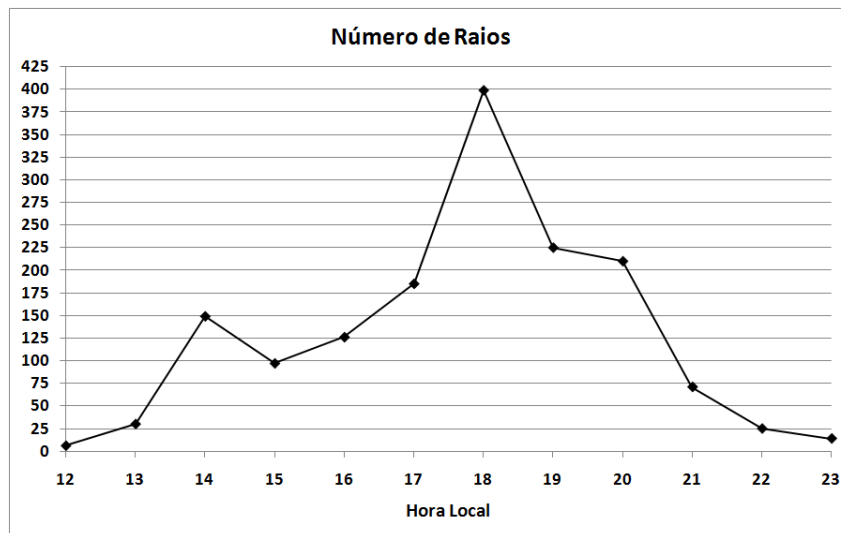


(c)

Figura 6 – Exemplos de descargas registradas na tarde do dia 10/11/2009, entre 17:14 e 19:18 hora local, em períodos onde as linhas de transmissão de Itaipu foram muito provavelmente atingidas por descargas. Nas descargas, o horário marcado está em hora universal (UT).



(a)



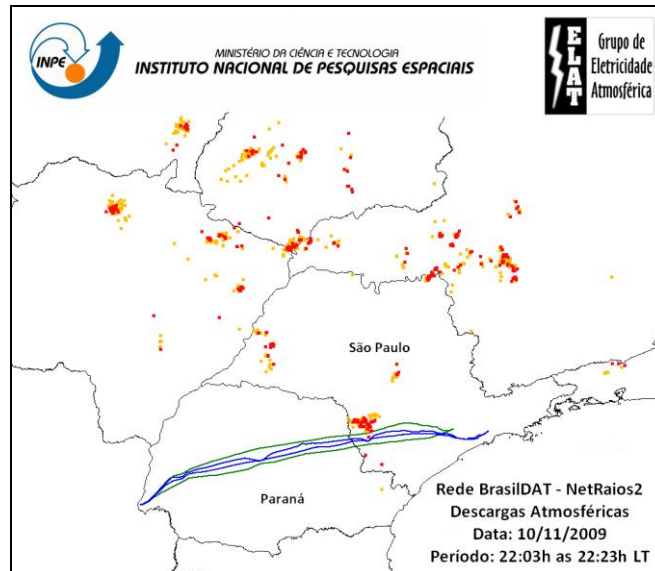
(b)

Figura 7 – Descargas registradas no dia 10/11/2009, próximas as linhas de transmissão de Itaipu, e evolução temporal do número destas descargas ao longo do dia.

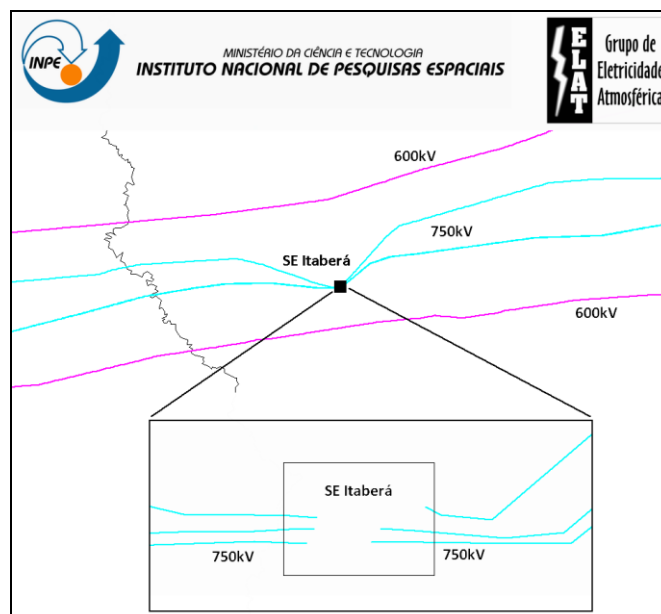
4.2 Análise para o período das 22:03 às 22:23

Considerando-se o período das 22:03 às 22:23 hora local, isto é, cerca de mais ou menos 10 minutos ao redor do período da interrupção de suprimento de energia elétrica, pode-se ver na Figura 8 que neste período foram registradas descargas atmosféricas próximas às linhas e subestações do sistema de Itaipu somente na região de Itaberá. Nesta figura também são indicadas as localizações das cinco linhas de transmissão de Itaipu e das subestações de Ivaiporã e Itaberá. As duas linhas de transmissão de 600 kV são mostradas em verde, enquanto que as três linhas de 750

kV são mostradas em azul (devido as duas linhas de 750 kV mais ao sul serem muito próximas, elas aparecem como uma só linha na escala da figura).



(a)



(b)

Figura 8 – (a) Descargas registradas pela BrasilDat na região do sistema de Itaipu para o período das 22:03 as 22:23 hora local em torno do horário da interrupção de suprimento de energia elétrica; (b) detalhe da proximidade das duas linhas de 750 kV ao sul na região da subestação de Itaberá.

A Figura 9 mostra a localização das descargas na região de Itaberá no período das 22:03 as 22:23 hora local, indicando a ocorrência de 169 descargas em 20 minutos associadas a uma tempestade, ou seja, cerca de oito descargas por minuto. Este valor é inferior ao valor médio registrado para tempestades na região sudeste do Brasil, que é de 12 descargas por minuto ou 240 descargas em 20 minutos. Valores extremos registrados no sudeste do país são da ordem de 50 descargas por minuto ou 1.000 descargas em 20 minutos, tal como registrado em Osasco em 13 de janeiro deste ano. Na Figura 9 também são mostradas a localização da subestação de Itaberá e de cinco linhas do sistema de Itaipu, duas em 600 kV CC e três linhas de 750 kV CA (as duas mais ao sul aparecem sobrepostas na escala da figura).

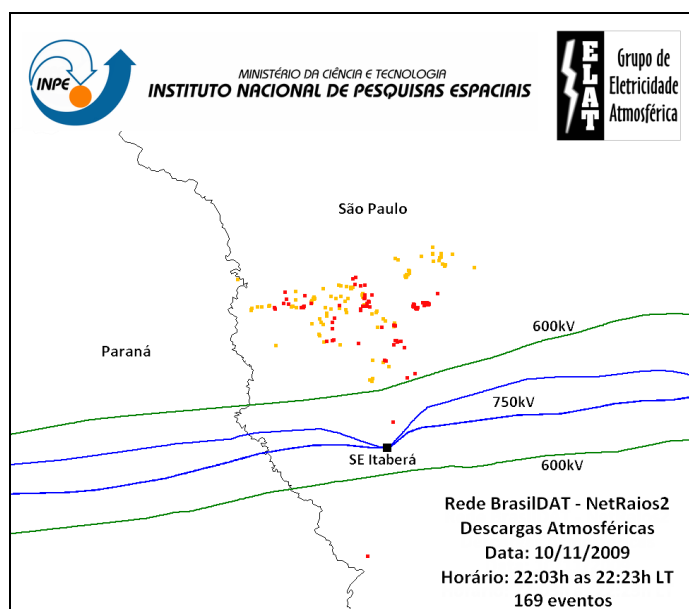


Figura 9 – Descargas registradas pela BrasilDat na região de Itaberá para o período em torno do horário da interrupção do fornecimento de energia elétrica.

4.3 Período da interrupção de suprimento de energia elétrica

A avaliação da interrupção de suprimento de energia elétrica, registrada as 22:13 hora local do dia 10 de novembro de 2009, foi realizada através do SAAD, assumindo-se duas alternativas:

- A primeira considera somente as descargas observadas entre as 22:12 e 22:14 hora local, isto é, mais ou menos um minuto em relação ao horário das 22:13;

- A segunda considera as descargas observadas entre as 22:10 e 22:16, isto é, mais ou menos três minutos em relação ao horário das 22:13, de modo a permitir uma possível incerteza no horário do evento. Tal consideração aumenta a possibilidade de que o desligamento de uma dada linha tenha sido devido a uma descarga em relação à primeira alternativa. Cabe salientar que uma análise similar para um intervalo entre as 22:03 e 22:23, isto é, mais ou menos 10 minutos ao redor do horário das 22:13 não altera significativamente os resultados obtidos.

4.3.1 Período das 22:12 às 22:14

Na Figura 10 é mostrado em detalhes as características das descargas no período correspondente as 22:12 às 22:14 hora local.

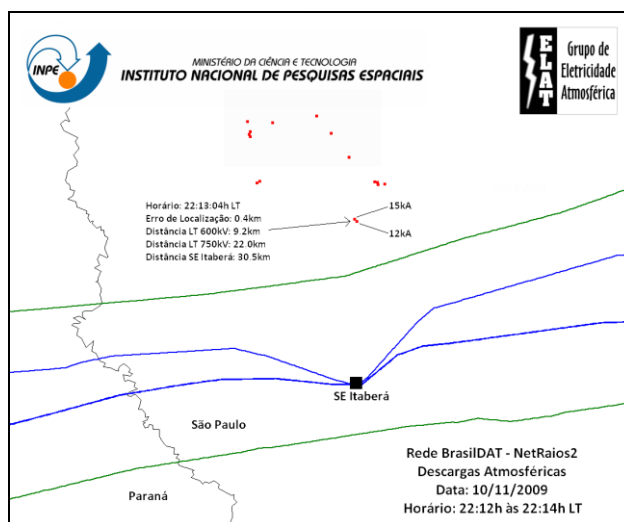


Figura 10 – Descargas registradas pela BrasilDat na região do sistema de Itaipu no período entre 22:12 e 22:14 hora local.

A análise da figura mostra que neste período a descarga mais próxima do sistema estava a 9,2 km de uma das linhas de 600 kV e a 30,5 km da subestação de Itaberá, sendo o erro associado as suas localizações de 0,4 km. Ao mesmo tempo, observa-se que as descargas registradas próximas às linhas de transmissão e à subestação de Itaberá são de fraca intensidade (< 15 kA).

4.3.2 Período das 22:10 às 22:16

Na Figura 11 é mostrado em detalhes as características das descargas no período correspondente as 22:10 as 22:16 hora local.

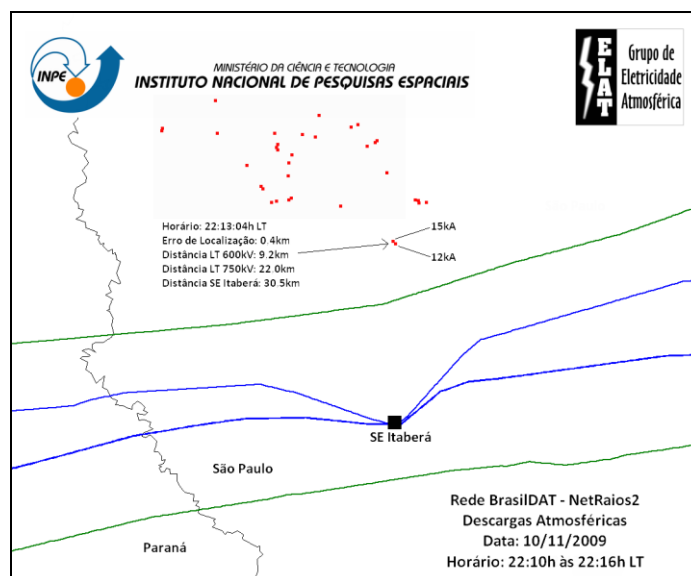


Figura 11 – Descargas registradas pela BrasilDat na região do sistema de Itaipu no período entre 22:10 e 22:16 hora local.

A análise da figura mostra que as descargas mais próximas ao sistema são as mesmas quando se considera o intervalo entre 22:12 e 22:14 hora local. Isto significa que não alterações nos resultados da análise do SAAD entre as duas alternativas.

Finalmente, com base no sistema SAAD foram estimadas as probabilidades individuais de que uma descarga tenha atingido diretamente cada uma das cinco linhas de transmissão de Itaipu ou a subestação de Itaberá. Em todos os casos, as probabilidades individuais são baixas (inferiores a 15%) para descargas fracas, isto é, com intensidades inferiores a 25 kA. Para descargas com intensidade acima de 25 kA as probabilidades são praticamente nulas.



5. CONCLUSÕES

Este relatório tem como conclusões:

1. No dia 10 de novembro de 2009 no período da tarde, horas antes da interrupção do fornecimento de energia elétrica, os registros da rede BrasilDat indicam que as linhas de transmissão do sistema Itaipu foram atingidas diversas vezes por descargas atmosféricas com intensidades superiores a 50 kA.
2. No horário da interrupção do fornecimento de energia elétrica registrada no dia 10 de novembro de 2009, às 22:13 hora local, os registros da rede BrasilDat indicam descargas próximas às linhas e subestações do sistema de Itaipu unicamente na região da subestação de Itaberá, associadas a uma tempestade cuja atividade elétrica de oito descargas por minuto é inferior a atividade média das tempestades registradas pela BrasilDat no sudeste do Brasil (12 descargas por minuto).
3. No horário da interrupção do fornecimento de energia elétrica registrada no dia 10 de novembro de 2009, às 22:13 hora local, os registros da rede BrasilDat indicam que a atividade de descargas tinha diminuído consideravelmente em relação à atividade registrada ao longo do dia.
4. A análise detalhada das descargas registradas num intervalo de mais ou menos um minuto em relação ao horário da interrupção do fornecimento de energia elétrica, isto é, entre às 22:12 e 22:14 hora local, próximas às linhas de transmissão de Itaipu e da subestação de Itaberá, indica a ocorrência de descargas de fraca intensidade (< 16 kA) e distantes mais de 9,2 km de uma das linhas de 600 kV e mais de 30,5 km da subestação de Itaberá. O mesmo resultado é obtido considerando-se um intervalo de mais ou menos três minutos, isto é, entre às 22:10 e 22:16 hora local.
5. Com base no sistema SAAD foram estimadas as probabilidades individuais de que uma descarga tenha atingido diretamente cada uma das cinco linhas de transmissão de Itaipu ou a subestação de Itaberá. Em todos os casos, as probabilidades individuais são baixas (inferiores a 15%) para descargas fracas, isto é, com intensidades inferiores a 25 kA. Para descargas com intensidade acima de 25 kA, as probabilidades são praticamente nulas.

REFERÊNCIAS



1. K.P. Naccarato and O. Pinto Jr., *Improvements in the detection efficiency model for the Brazilian lightning detection network (BrasilDat)*, Atmospheric Research, 10.1016/j.atmosres.2008.06.019, 2008.
2. O. Pinto Jr., K.P. Naccarato, I.R.C.A. Pinto, M.A. Carretero, R.F. Abdo and S.A. de M. Garcia, *A new real-time tool to fault analysis based on data provided by lightning location systems*, Proceedings of the International Lightning Detection Conference (ILDC), Tucson, Arizona, 2006.
3. O. Pinto Jr., K.P. Naccarato, I.R.C.A. Pinto, R. Abdo e S.A. de M. Garcia, *Nova metodologia para análise de desligamentos de linhas de transmissão devido a descargas atmosféricas*, Anais do SNPTEE, Rio de Janeiro, 2007.
4. O Pinto Jr., *Lightning in the tropics: from a source of fire to a monitoring system of climatic changes*, Nova Publishers, 2009.

São José dos Campos, 03 de dezembro de 2009.

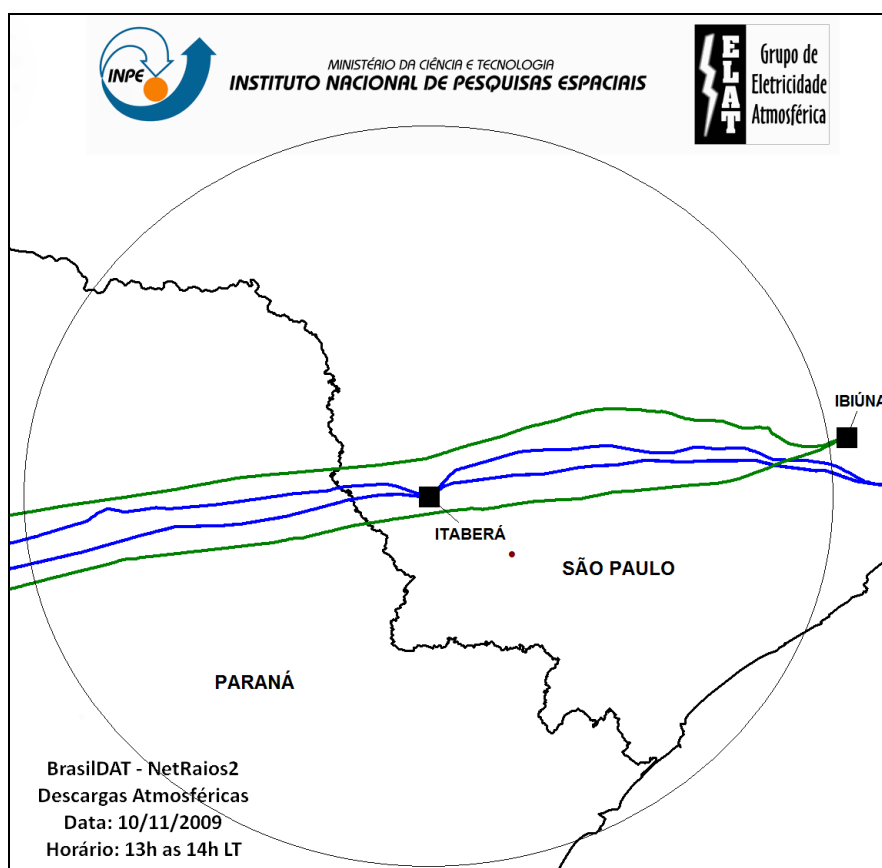
Osmar Pinto Junior

Coordenador do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Anexo 1

Dados de descargas registrados pela BrasilDat entre 13:00 e 14:00 hora local do dia 10 de novembro de 2009.



Listagem de Descargas Atmosféricas

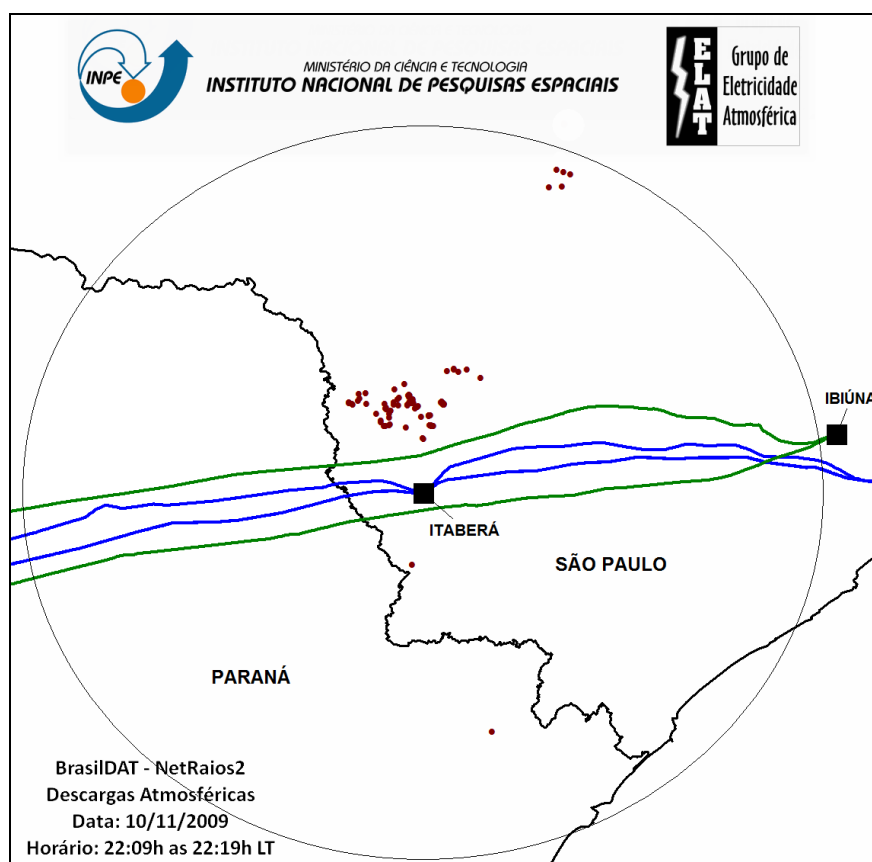
Data: 10/11/2009

Horário: 13:00h as 14:00h

Horário	Longitude	Latitude
13:14:24.554080500	-48.728	-24.2261

Anexo 2

Dados de descargas registrados pela BrasilDat entre 22:09 e 22:19 hora local do dia 10 de novembro de 2009.



Listagem de Descargas Atmosféricas

Data: 10/11/2009

Horário: 22:09h as 22:19h

Horário	Longitude	Latitude
22:09:06.985980000	-49.0986	-23.5626
22:09:06.272220000	-49.1040	-23.5678



22:09:26.709511000	-48.5158	-22.4477
22:09:49.136370000	-49.2577	-23.4866
22:09:49.734940000	-49.2047	-23.4672
22:09:49.973299300	-49.2012	-23.4739
22:09:50.602300000	-49.2013	-23.4623
22:10:27.620040999	-48.8506	-23.3816
22:10:41.374829900	-49.4107	-23.5076
22:10:41.397948500	-49.4129	-23.4555
22:10:46.781249671	-49.2491	-23.4796
22:10:54.981191404	-48.4516	-22.4439
22:11:07.219045800	-49.3634	-23.5581
22:11:07.709280800	-49.2548	-23.5139
22:11:31.868429600	-48.9819	-23.3381
22:11:31.988277200	-48.9805	-23.3363
22:11:45.234135400	-49.4978	-23.5040
22:11:45.271971600	-49.4970	-23.5001
22:11:45.391666900	-48.4752	-22.3619
22:11:50.892419600	-49.1576	-23.5194
22:11:50.922397726	-49.1606	-23.5225
22:11:57.139951800	-49.3247	-23.6166
22:11:57.227796000	-49.3408	-23.5919
22:11:57.332931000	-49.3384	-23.5959
22:11:59.387346700	-49.2720	-23.4382
22:12:11.241604000	-48.9600	-23.3502
22:12:11.336254500	-48.9193	-23.3385
22:12:14.677897400	-49.2756	-23.5099
22:12:14.699575000	-49.3194	-23.5072
22:12:15.212410800	-49.3146	-23.5249
22:12:15.276997556	-48.4096	-22.3824
22:12:15.281578500	-49.3151	-23.5338
22:12:37.121261014	-48.7959	-25.1131
22:12:42.832621500	-49.0164	-23.3458
22:12:49.652871200	-49.3163	-23.5296
22:12:55.175302200	-49.1729	-23.5286
22:12:55.186022700	-49.1984	-23.4982
22:13:01.907167800	-49.1419	-23.5696
22:13:04.295056966	-49.1292	-23.6780
22:13:04.341918000	-49.1330	-23.6745
22:13:04.478432500	-49.0992	-23.6115
22:13:04.517793900	-49.0930	-23.6160
22:13:04.609343200	-49.0822	-23.6146
22:13:04.660011900	-49.0946	-23.6119
22:13:17.327339400	-49.2972	-23.6128
22:13:17.860201000	-49.2932	-23.6103
22:14:22.818144361	-49.3167	-23.6152
22:14:36.843189800	-49.1876	-23.4937
22:14:53.342899300	-49.2919	-23.5419
22:14:53.375080937	-49.2974	-23.5548
22:14:53.441092700	-49.2984	-23.5753



22:15:45.402804200	-49.2239	-23.4125
22:15:46.292717400	-49.2157	-23.6223
22:16:04.819134400	-49.1844	-23.4872
22:16:50.744732400	-49.0995	-23.5649
22:16:50.786521000	-49.1029	-23.5644
22:16:57.797359700	-49.2078	-23.5115
22:16:57.838791300	-49.1911	-23.5028
22:16:58.572776000	-49.2080	-23.5167
22:17:21.776010900	-49.2760	-23.5009
22:17:54.272929500	-49.1815	-23.4898
22:18:05.690492500	-49.4430	-23.4806
22:18:08.547571900	-49.1791	-23.5060
22:18:25.561606800	-49.1980	-23.4794
22:18:56.960803800	-49.1963	-23.4669
22:19:04.531968400	-49.2010	-23.5029
22:19:22.884540300	-49.1854	-24.2965
22:19:33.189276191	-48.4441	-22.3716
22:19:42.737134300	-49.4527	-23.4948
22:19:42.762196500	-49.4781	-23.5118
22:19:42.832269200	-49.4815	-23.5082
22:19:42.923632000	-49.4471	-23.4585
22:19:47.736540500	-49.0412	-23.5029
22:19:47.756529500	-49.0431	-23.5022
22:19:47.783176100	-49.0394	-23.5058
22:19:47.811272200	-49.0417	-23.5054
22:19:47.835817100	-49.0406	-23.4965
22:19:47.875214600	-49.0413	-23.5030
22:19:47.952590100	-49.0347	-23.5107
22:19:47.987596400	-49.0382	-23.4992
22:19:48.308518000	-49.0304	-23.5131
22:19:48.362463900	-49.0295	-23.5096
22:19:48.454585100	-49.0289	-23.5087
22:19:48.609614400	-49.0331	-23.5117