

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Rede de Monitoramento do Campo Elétrico do Vale do Paraíba  
Bolsista: Michel Yasuyuki Gejima Junior  
Orientador(a): Marco Antonio da Silva Ferro  
Período a que se refere o relatório: Agosto de 2014 a julho de 2015

### Resumo

Neste projeto de pesquisa procura-se analisar dados de campo elétrico atmosférico medido pelos equipamentos que integram uma rede de monitoramento que cobre grande parte da Região Metropolitana do Vale do Paraíba, na região Leste do Estado de São Paulo, visando à obtenção de um critério para o disparo de um alerta de risco de ocorrência de relâmpago.

Haverá uma caracterização do que há de comum entre os dados medidos pelos sensores e as medidas de campo para todo primeiro relâmpago que ocorre dentro da área de cobertura da rede, além de se caracterizar o tipo de tempestade a que esses relâmpagos pertencem.

### 1. Introdução

Lengyel, 2004 mostrou que mais da metade dos acidentes com relâmpagos resultam do primeiro ou um dos primeiros relâmpagos NS em uma tempestade e que um significativo número de acidentes resultaram do retorno às atividades externas um pouco antes da atividade de relâmpagos ter realmente cessado. Esses resultados suportam um estudo prévio (Holle et al., 1992) mostrando que a maioria dos acidentes ocorrem ou durante a iniciação da tempestade ou durante a sua dissipação. Entre esses períodos, quando a ameaça de relâmpago é óbvia, existem menos acidentes. Portanto, pode ser concluído que os períodos de iniciação e dissipação da atividade de relâmpagos são criticamente importantes do ponto de vista tanto da segurança patrimonial como, principalmente, da segurança humana. Por essa razão, um



grande esforço tem sido feito para desenvolver métodos para prever com precisão a ocorrência de relâmpagos para ajudar a garantir a segurança de atividades consideradas críticas bem como a proteger a vida humana em diversas atividades externas. Vários estudos sugerem métodos diversos de alertas para a ocorrência de relâmpagos. Um exemplo é o método que propõe o uso de informações sobre a localização de incidência dos NS (Murphy and Cummins, 2000; Murphy et al., 2002; Holle et al., 2003). Outro método combina o número total de relâmpagos com informação de radar meteorológico (Murphy and Holle, 2005 e 2006). Um terceiro método desenvolvido é o de combinar informação de dados de relâmpagos com os dados de sensores que detectam variações do campo elétrico atmosférico (Murphy et al., 2008; Montanya et al., 2008; Beasley et al., 2008; Aranguren et al., 2009). Esses estudos mostram que as medidas efetuadas pelo sensor de campo elétrico são fortemente influenciadas pelas características do local de instalação do mesmo (por exemplo, a altura do centro de carga da nuvem naquela região, a topografia, etc.). Portanto, a efetividade dos métodos de alerta de relâmpagos que utilizaram informações de campo elétrico varia de região para região. Vale notar, ainda, que todos esses estudos foram realizados no hemisfério norte. Naccarato et al. (2008) apresentaram uma análise preliminar comparando alertas automáticos gerados somente por disparos de EFM e alertas baseados somente na ocorrência de descargas de relâmpagos NS em uma região do hemisfério sul. Ferro et al. (2010) ampliaram a análise preliminar realizada por Naccarato, para a mesma região, comparando a informação de um EFM instalado numa área específica com informações de relâmpagos NS fornecidas pela rede brasileira de detecção de descargas atmosféricas – BrasilDAT, de modo a avaliar como a informação da variação do campo elétrico atmosférico pode auxiliar no processo de tomada de decisão de emissão de alerta sobre o risco de ocorrência de relâmpago.

A introdução anterior deixa claro que é necessário um estudo sistemático, para uma região específica, das variações do campo elétrico atmosférico obtidas a partir da utilização de uma rede de EFM, tendo como base um banco de dados que forneça uma série temporal o mais longa possível.

A partir da redução e análise desses dados será possível propor um sistema, bem como definir critérios a serem utilizados pelo sistema proposto, de modo a dar suporte para a tomada de decisão de emissão de alertas de risco de relâmpagos para uma área de interesse.

Finalmente, dado que a área de interesse está situada numa região com excelente cobertura da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT), poderemos utilizar as informações dos relâmpagos efetivamente ocorridos, fornecidos pela BrasilDAT, de maneira a avaliar as porcentagens de falhas na emissão de alertas para várias magnitudes do campo elétrico atmosférico utilizadas como nível crítico para o disparo dos mesmos.

Atualmente já existe em funcionamento um alarme ligado a um dos sensores (Ferro et al., 2010), e, para um determinado período de observação, este apresentou 60% de eficiência em emitir um alerta antes da ocorrência de relâmpagos. Acredita-se que com o funcionamento de um número maior de sensores trabalhando simultaneamente, pode-se não só abranger uma área de análise maior, como também melhorar a eficiência na emissão de alertas de risco de ocorrência de relâmpagos, pois sensores diferentes podem gerar dados complementares acerca de uma determinada região, aumentando a precisão do campo elétrico atmosférico medido. O projeto está baseado no funcionamento integrado deste número maior de sensores.

## **2. Material e métodos**

Para captação dos dados do campo elétrico atmosférico, são usados sensores como os mostrados na figura 1, e esses são transferidos para o banco de dados. Uma vez armazenados, são renomeados para se tornarem compatíveis com arquivos de Excel.



Figura 1 – À esquerda o sensor modelo CS 110, de fabricação Campbell Scientific, e à direita o sensor modelo EFM 550, de fabricação Vaisala

Foram analisados os dados de campo elétrico medidos pelos sensores da rede de monitoramento obtidos no período de janeiro a abril de 2014. Esse período foi escolhido por ser o primeiro verão com todos os sensores operando ininterruptamente. A Figura 2 mostra a distribuição dos sensores da rede de monitoramento do Vale do Paraíba.

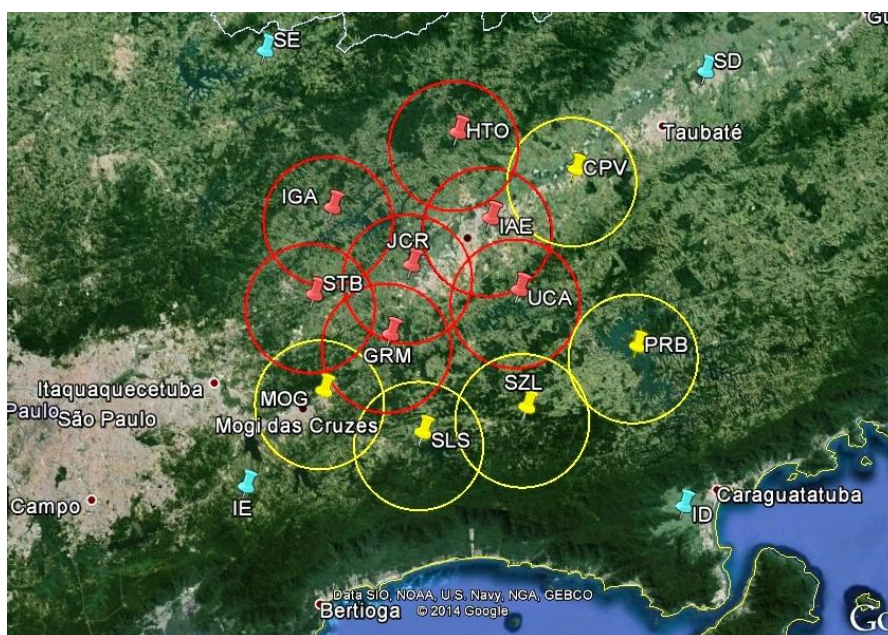


Figura 2– Área de cobertura da Rede de Monitoramento do Campo Elétrico Atmosférico. Vermelho: sensores CS 110 instalados pela ACA/IAE. Amarelo: sensores EFM 550 instalados pelo INPE. Pinos azuis definem a área considerada neste trabalho.

A identificação dos sensores, o proprietário e o meio utilizado para a comunicação com o servidor são dados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Sensores da Rede de Monitoramento do Campo Elétrico do Vale do Paraíba

#	initials	Site	Owner	Comm.
1	IGA	Igaratá	DCTA	LAN
2	STB	Santa Isabel	DCTA	LAN
3	GRM	Guararema	DCTA	LAN
4	IAE	Torre IAE	DCTA	LAN+GSM
5	JCR	Jacareí	DCTA	GSM
6	HTO	Horto SJC	DCTA	GSM
7	UCA	Usina Cel. Abner	DCTA	GSM
8	MOG	Mogi das Cruzes	INPE	GSM
9	SLS	Salesópolis	INPE	GSM
10	PRB	Paraibuna	INPE	GSM
11	CPV	Caçapava	INPE	GSM
12	TST	Torre IAE	INPE	GSM

Primeiramente os dados brutos de campo elétrico foram separados mês a mês e validados, ou seja: tiveram que ser eliminados dados inconsistentes, incoerentes, em duplicidade, etc. gerados por problemas eventuais durante a transmissão automática feita pelos dataloggers localizados em campo junto aos sensores. Como os sensores fazem medidas continuamente de minuto em minuto, o volume de dados gerados provocou uma grande demanda de horas nesse trabalho.

As informações sobre os relâmpagos ocorridos no mesmo período, fornecidas pela rede de monitoramento de descargas atmosféricas - BrasilDAT, operada pelo INPE, também foram separadas mês a mês. Os relâmpagos ocorridos no período foram agrupados em tempestades, utilizando-se como critério o intervalo de tempo entre a ocorrência das descargas. Assim, relâmpagos com intervalo de tempo superior a 30 minutos entre si, eram classificados como gerados por tempestades distintas.

As tempestades também foram classificadas como de desenvolvimento local ou aproximando-se a partir de outra região, de acordo com o seu deslocamento em relação à área de cobertura da rede de monitoramento do campo elétrico. Para essa classificação foram analisadas imagens de satélite e de radar. A Figura 3<sup>a</sup> mostra um exemplo de imagem de satélite utilizada e a Figura 3<sup>b</sup> um exemplo de imagem de radar utilizada.

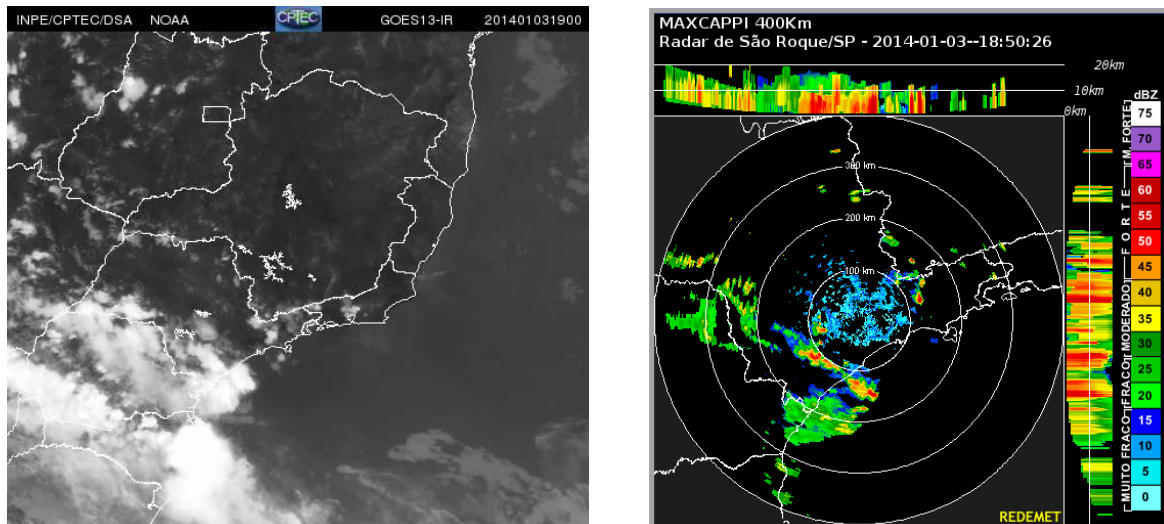


Figura 3– Exemplos das imagens utilizadas para classificação das tempestades a) Satélite; b) Radar

As informações sobre os relâmpagos também foram utilizadas para essa classificação. Primeiro foi necessário identificar o primeiro relâmpago ocorrido dentro da área de cobertura da rede. Uma vez identificado o primeiro relâmpago, foi utilizado o critério da existência ou não de outras descargas antecedendo esse relâmpago.

Assim, os casos nos quais existiam relâmpagos antecedendo o primeiro ocorrido dentro da área de cobertura da rede foram classificados como “Sistemas se Aproximando” provenientes de outras regiões. A Figura 4, a seguir, mostra um trecho da planilha com as informações dos relâmpagos, destacando a tempestade 124 como um exemplo de um caso de “Sistema se Aproximando”. O primeiro relâmpago ocorrido na área da rede está indicado em vermelho. Os relâmpagos estão ordenados segundo o instante de ocorrência. A última coluna à direita da planilha mostra a distância, em quilômetros, entre o relâmpago e o local de impacto do primeiro ocorrido na área da rede.



1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1	tempestade	ano	mes	dia	hora	minuto	segundo	nanosegundo	latitude	longitude	corrente	pico	flag	intranuvem	distancia
8602															
8603	124	2014	03	01	17	37	40	209	-23.3065	-45.3942	-17	0	0	31.04	
8604	124	2014	03	01	17	37	40	260	-23.3058	-45.4089	-18	0	0	30.54	
8605	124	2014	03	01	17	37	40	310	-23.3174	-45.387	-10	0	0	30.56	
8606	124	2014	03	01	17	41	46	855	-23.288	-45.4246	-10	0	0	31.37	
8607	124	2014	03	01	17	42	45	428	-23.3365	-45.3847	-34	0	0	29.30	
8608	124	2014	03	01	17	44	42	915	-23.3272	-45.3897	-13	0	0	29.74	
8609	124	2014	03	01	17	44	42	947	-23.3276	-45.3995	-10	0	0	29.29	
8610	124	2014	03	01	17	44	42	981	-23.3205	-45.3968	-15	0	0	29.92	
8611	124	2014	03	01	17	44	43	005	-23.3353	-45.3867	-7	0	0	29.29	
8612	124	2014	03	01	17	45	35	438	-23.6774	-45.4853	-26	0	0	0.00	
8613	124	2014	03	01	17	45	42	656	-23.332	-45.4041	-38	0	0	28.79	
8614	124	2014	03	01	17	45	42	692	-23.3293	-45.4275	-24	0	0	28.18	
8615	124	2014	03	01	17	46	40	930	-23.2873	-45.3841	-32	0	0	32.85	
8616	124	2014	03	01	17	47	20	390	-23.3343	-45.3723	-8	0	0	30.06	
8617	124	2014	03	01	17	47	20	465	-23.3388	-45.3915	-11	0	0	28.83	
8618	124	2014	03	01	17	48	14	748	-23.3462	-45.3531	-8	0	0	30.30	
8619	124	2014	03	01	17	48	14	840	-23.3273	-45.3654	-16	0	0	30.90	
8620	124	2014	03	01	17	48	14	927	-23.3481	-45.3512	-34	0	0	30.29	
8621	124	2014	03	01	17	49	49	465	-23.3254	-45.3595	-51	0	0	31.35	
8622	124	2014	03	01	17	52	15	851	-23.2821	-45.6617	-15	0	0	35.90	
8623	124	2014	03	01	17	52	15	932	-23.2783	-45.666	-9	0	0	36.40	
8624	124	2014	03	01	17	59	31	599	-23.2839	-45.3084	-15	0	0	37.09	
8625	124	2014	03	01	18	01	24	753	-23.2557	-45.6235	-23	0	0	35.79	
8626	124	2014	03	01	18	15	15	562	-23.3932	-45.2419	-29	0	0	35.87	
8627	124	2014	03	01	18	15	15	674	-23.383	-45.2597	-12	0	0	34.86	
8628	124	2014	03	01	18	15	15	797	-23.3786	-45.2587	-12	0	0	35.17	

Figura 4 – Planilha mostrando um caso de existência de relâmpagos antecedendo o primeiro ocorrido no interior da área de cobertura da rede (indicado em vermelho), configurando um “Sistema se Aproximando” da área monitorada.

Já os casos em que não ocorriam relâmpagos antecedendo o primeiro dentro da área de cobertura da rede foram classificados como “Convecção Local”. A Figura 5, a seguir, mostra um trecho da planilha com as informações dos relâmpagos, destacando a tempestade 071 como um exemplo de um caso de “Convecção Local”. O primeiro relâmpago produzido pela tempestade já ocorre na área de cobertura da rede e está indicado em vermelho.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1	tempestade	ano	mes	dia	hora	minuto	segundo	nanosegundo	latitude	longitude	corrente	pico	flag	intranuvem	distancia
4137	070	2014	01	16	15	08	30	778	-23.0859	-45.9834	-14	0	0	32.21	
4138	070	2014	01	16	15	08	31	386	-23.4697	-46.1587	-38	0	0	39.32	
4139	070	2014	01	16	15	08	31	435	-23.4463	-46.1649	-29	0	0	37.39	
4140	070	2014	01	16	15	08	31	601	-23.0914	-46.0031	-13	0	0	30.21	
4141	070	2014	01	16	15	08	37	369	-22.9854	-45.9083	-39	0	0	39.55	
4142	070	2014	01	16	15	08	42	584	-23.2094	-46.0259	-25	0	0	31.75	
4143	070	2014	01	16	15	08	54	550	-23.1129	-45.9646	-15	0	0	34.79	
4144	070	2014	01	16	15	08	54	746	-23.1103	-45.9509	-22	0	0	36.19	
4145	070	2014	01	16	15	09	12	327	-22.977	-45.8954	-32	0	0	40.99	
4146															
4147	071	2014	01	17	14	03	15	338	-23.6374	-45.5376	-16	0	0	0.00	
4148	071	2014	01	17	14	03	08	348	-23.7165	-45.42	-10	0	0	14.46	
4149	071	2014	01	17	14	05	32	093	-23.677	-45.4951	-18	0	0	5.64	
4150	071	2014	01	17	14	05	32	154	-23.6808	-45.4729	-17	0	0	7.95	
4151	071	2014	01	17	14	06	15	156	-23.6856	-45.4475	-22	0	0	10.70	
4152	071	2014	01	17	14	06	15	182	-23.684	-45.4501	-21	0	0	10.39	
4153	071	2014	01	17	14	06	15	217	-23.6949	-45.4505	-34	0	0	10.67	
4154	071	2014	01	17	14	06	15	254	-23.6923	-45.4466	-16	0	0	10.99	
4155	071	2014	01	17	14	07	04	885	-23.681	-45.4435	-14	0	0	11.00	
4156	071	2014	01	17	14	08	02	438	-23.7084	-45.5189	-34	0	0	5.91	
4157	071	2014	01	17	14	09	18	221	-23.6909	-45.4849	-29	0	0	7.19	
4158	071	2014	01	17	14	13	13	962	-23.6369	-45.69	-13	0	0	16.95	
4159	071	2014	01	17	14	13	38	936	-23.6065	-45.5057	-19	0	0	4.29	
4160	071	2014	01	17	14	14	08	226	-23.643	-45.6823	-10	0	0	16.10	
4161	071	2014	01	17	14	15	15	507	-23.6746	-45.4855	-24	0	0	6.48	
4162	071	2014	01	17	14	16	01	715	-23.6843	-45.4948	-16	0	0	6.00	
4163	071	2014	01	17	14	16	42	818	-23.7421	-45.8929	-33	0	0	40.34	

Figura 5 – Planilha mostrando um caso não existência de relâmpagos antecedendo o primeiro ocorrido no interior da área de cobertura da rede (indicado em vermelho), configurando uma “Convecção Local”.

Foram analisadas 134 tempestades, sendo 43% (58 em 134) do tipo Convecção Local e 57% (76 em 134) do tipo Sistema se Aproximando.

O ponto de impacto do primeiro relâmpago de cada tempestade foi localizado dentro da área de cobertura da rede e, a partir dele, foram gerados círculos com raios de 10, 20 e 30 km, com o objetivo de auxiliar na avaliação da influência da distância dos sensores em relação ao ponto de impacto do relâmpago na determinação do critério de disparo do alerta de risco de relâmpago pela ultrapassagem de um determinado nível de intensidade do campo elétrico medido por eles (Threshold). A Figura 6 mostra um caso de localização do ponto de impacto de um primeiro relâmpago ocorrido às 15h42 do dia 03/01/2014 dentro da área de cobertura da rede e os círculos de 10, 20 e 30 km associados a ele.

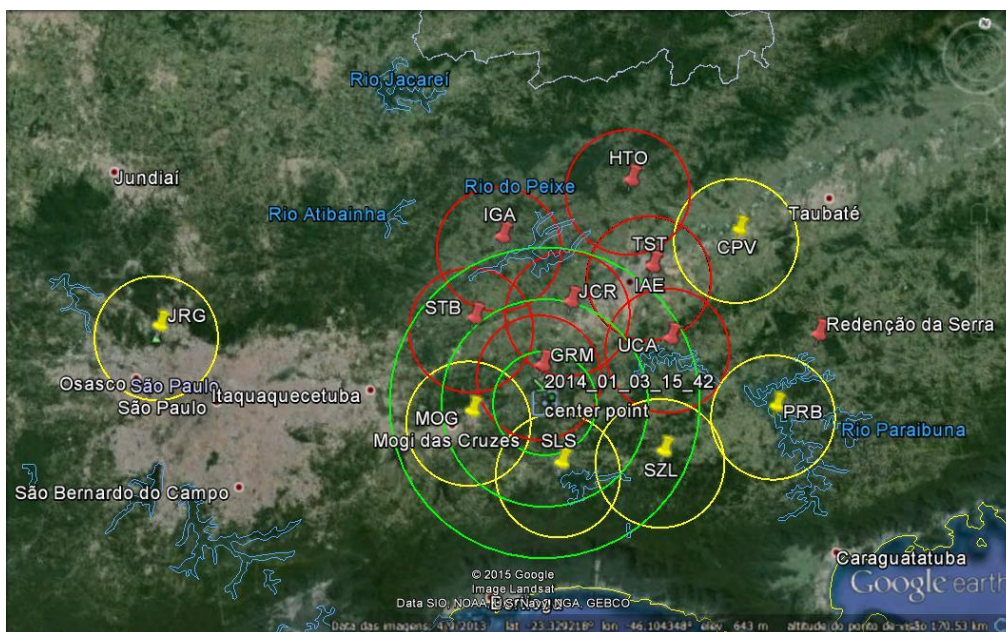


Figura 6 – Localização do ponto de impacto do primeiro relâmpago de uma tempestade e os círculos de 10, 20 e 30 km associados a ele.

Para cada primeiro relâmpago foram gerados gráficos mostrando a variação do campo elétrico atmosférico medido por cada um dos sensores da rede desde uma hora antes da ocorrência da descarga até uma hora depois. A Figura 7 mostra o gráfico das variações no campo elétrico medido pelos sensores da rede associadas ao relâmpago ocorrido às 15h42 do



dia 03/01/2014 mostrado na figura anterior. A reta vermelha indica o instante da ocorrência do relâmpago.

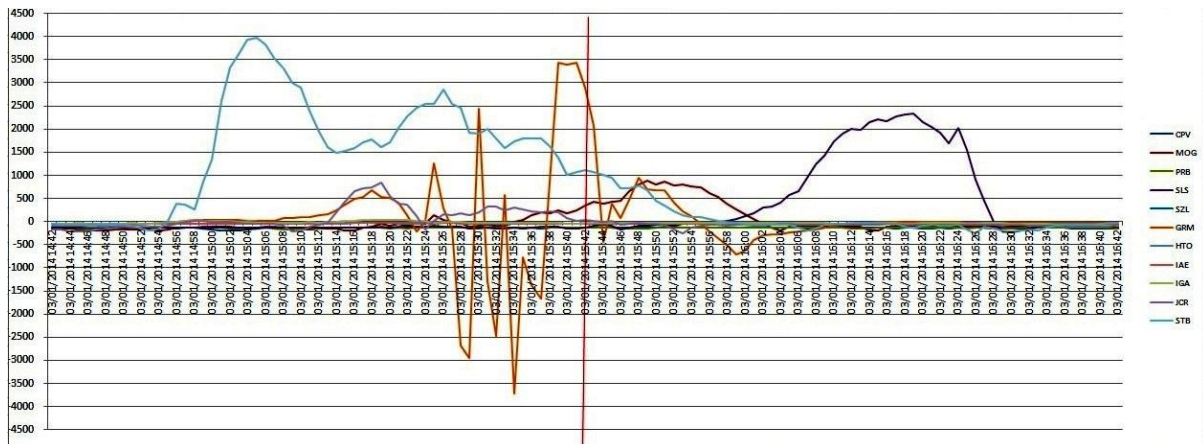


Figura 7 – Variações no campo elétrico atmosférico medido pelos sensores da rede associadas à tempestade que provocou um relâmpago às 15h42 do dia 03/01/2014.

A partir dos gráficos gerados foi elaborada uma planilha contendo o levantamento de para quais sensores ocorreu a inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico antes da ocorrência do primeiro relâmpago de cada tempestade e com que antecedência em relação ao instante de ocorrência do primeiro relâmpago a inversão ocorreu. A Figura 8, a seguir, mostra um trecho da planilha gerada.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V							
2	Tempestade	1º Relâmpago					Inversão de Polaridade																Nr Sensores	Média Antec.					
3	ano	mês	dia	hora	minutos	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia	sensor	antecedencia		
82	123	2014	2	28	4	6	GRM	26,00																			1	26,00	
83	122	2014	2	28	6	56	HTO	55,00																				1	55,00
84	123	2014	2	28	12	43																						0	
85	124	2014	3	1	17	45																						0	
86	125	2014	3	1	21	7	PRB	43,00																				1	43,00
87	126	2014	3	1	23	12	CPV	6,00																				1	6,00
88	127	2014	3	2	0	51	CPV	57,00																				1	57,00
89	128	2014	3	2	1	50																						0	
90	129	2014	3	2	3	30																						0	
91	130	2014	3	2	18	23	HTO	23,00																				1	23,00
92	131	2014	3	3	19	52	CPV	20,00																				1	20,00
93	132	2014	3	4	18	28	STB	46,00	IGA	46,00	JCR	21,00																3	37,67
94	133	2014	3	4	20	39																						0	
95	134	2014	3	5	17	21	IGA	29,00	STB	16,00																		2	22,50
96	135	2014	3	5	18	49	IAE	56,00	SLS	48,00																		2	52,00
97	136	2014	3	6	19	0	JCR	6,00	GRM	16,00																		2	11,00
98	137	2014	3	6	20	16	IGA	18,00	STB	5,00	MOG	33,00																3	18,67
99	138	2014	3	7	16	19																						0	
100	139	2014	3	7	18	23	IGA	13,00																				1	13,00
101	140	2014	3	7	19	46	JCR	57,00	GRM	29,00	MOG	30,00																3	38,67
102	141	2014	3	7	23	43	PRB	34,00	JCR	58,00	MOG	18,00																3	36,67
103	142	2014	3	9	16	47	HTO	3,00																				1	3,00
104	143	2014	3	9	19	44																						0	
105	144	2014	3	9	21	14																						0	
106	145	2014	3	10	19	52	MOG	37,00	STB	22,00																		2	29,50
107	146	2014	3	10	21	38	IGA	5,00	HTO	30,00																		2	17,50
108	147	2014	3	11	15	18																						0	
109	148	2014	3	11	17	25	HTO	19,00																				1	19,00
110	149	2014	3	12	17	41	IGA	10,00																				1	10,00
111	150	2014	3	12	20	17	IGA	17,00	PRB	39,00	JCR	41,00																3	32,33
112	151	2014	3	13	18	6																						0	
113	152	2014	3	14	0	5	PRB	8,00	SLS	51,00	MOG	44,00																3	34,33

Figura 8 – Trecho da planilha contendo o levantamento de para quais sensores ocorreu a inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico antes da ocorrência do primeiro relâmpago de cada tempestade.

Quando não há a presença de nuvens de tempestade, eletricamente carregadas, o campo elétrico atmosférico, denominado de campo elétrico de “Tempo Bom”, tem valor baixo (cerca de 150 V/m próximo ao solo), direção perpendicular à superfície do solo e sentido descendente. A Figura 9 ilustra a descrição anterior.

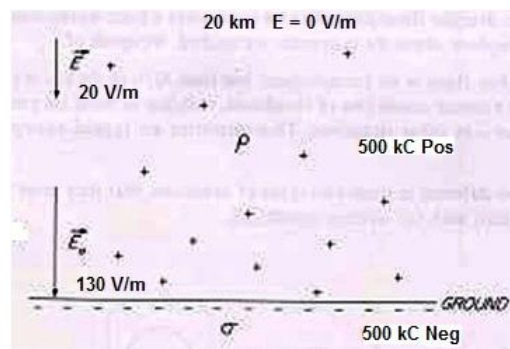


Figura 9 – Campo elétrico de “Tempo Bom”

Quando uma nuvem eletricamente carregada se forma ou se aproxima de uma região, sua estrutura elétrica dipolar, cujo centro de carga negativo se apresenta mais próximo da superfície do planeta, faz com que o sentido do campo elétrico atmosférico naquela região se inverta e aumente consideravelmente em comparação com o campo elétrico de “Tempo Bom”.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análise da percepção da ocorrência da inversão de polaridade do campo elétrico atmosférico

A Tabela 2 abaixo mostra a análise quanto à percepção da ocorrência da inversão de polaridade do campo elétrico atmosférico pelos sensores que compõem a rede de monitoramento do Vale do Paraíba.

Tabela 2 – Análise quanto à percepção da ocorrência da inversão de polaridade.

	Com Inversão de Polaridade	Sem Inversão de Polaridade
Todas as Tempestades	40% (54 em 134)	60% (80 em 134)
Convecção Local	45% (26 em 58)	55% (32 em 58)
Sistema se Aproximando	36% (27 em 76)	64% (48 em 76)

Da análise dos resultados obtidos observa-se que houve a percepção da ocorrência da inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico em 40% dos casos quando tomado todo o conjunto de 134 tempestades, independentemente se foram classificadas como do tipo “Convecção Local” ou “Sistema se Aproximando”. Quando analisados separadamente, houve uma piora na percepção da inversão da polaridade do campo para o grupo das tempestades que se deslocaram passando pela área de cobertura da rede de monitoramento provenientes de outra região, as classificadas como “Sistemas se Aproximando”, com 36% dos casos apresentando inversão de polaridade nas medidas. O grupo classificado como “Convecção Local”, apresentou uma ligeira melhora com 45% dos casos para os quais houve percepção da inversão da polaridade do campo. Porém, qualquer que seja o conjunto analisado a percepção da inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico sempre foi identificada em menos da metade dos casos.

### **3.2. Análise do número de sensores por tempestade e do tempo de antecedência da ocorrência da inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico**

A Tabela 3 abaixo mostra a análise do número de sensores por tempestade que registraram uma inversão na polaridade do campo elétrico atmosférico antes da ocorrência do primeiro relâmpago dentro da área de cobertura da rede de monitoramento do Vale do Paraíba. Também é apresentado o tempo de antecedência da ocorrência da inversão da polaridade em relação ao instante de ocorrência do primeiro relâmpago.

Tabela 3 – Análise do numero de sensores por tempestade e tempo de antecedência.

	Com Inversão de Polaridade	
	Sensor/tempestade	Tempo de antecedência
Todas as Tempestades	0,7	21,3 min
Convecção Local	0,8	16,3 min
Sistema se Aproximando	0,5	25,4 min

Resultados semelhantes foram encontrados quando se avalia a percepção da ocorrência da inversão de polaridade do campo elétrico atmosférico pelos sensores, mostrada na tabela anterior. Quando tomado todo o conjunto de 134 tempestades, independentemente se foram classificadas como do tipo “Convecção Local” ou “Sistema se Aproximando”, em média, menos de 1 sensor (0,7 sensor por tempestade) acusou a inversão da polaridade do campo com um intervalo de antecedência médio de 21,3 minutos. Quando analisadas separadamente, houve uma discreta piora para o grupo das tempestades classificadas como “Sistemas se Aproximando”, para as quais, em média, apenas 1 sensor a cada duas tempestades (0,5 sensor por tempestade) acusou a ocorrência de inversão da polaridade do campo com um intervalo de antecedência médio de 25,4 minutos. Para o grupo das tempestades classificadas como “Convecção Local” houve uma discreta melhora, mesmo assim com menos de 1 sensor (0,8 sensor por tempestade), em média, tendo registrado a inversão da polaridade do campo, com o menor tempo de antecedência médio, de 16,3 minutos.

#### 4. Conclusões

Foram analisados os dados de campo elétrico medidos pelos sensores da rede de monitoramento obtidos no período de janeiro a abril de 2014. Esse período foi escolhido por ser o primeiro verão com todos os sensores operando ininterruptamente.

Foi avaliado o critério de disparo de alerta de risco de ocorrência de relâmpago dentro da área de cobertura da rede que tem por base a inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico devido à presença de uma nuvem carregada eletricamente próximo à área de cobertura da rede de monitoramento do Vale do Paraíba.



Os resultados obtidos levam a crer que o critério para disparo de um alerta de risco de ocorrência de relâmpago baseado na inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico aparentemente não apresenta uma boa eficiência.

Quando consideradas todas as 134 tempestades houve a percepção da ocorrência da inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico em 40% dos casos por menos de 1 sensor, em média (0,7 sensor por tempestade), e em 60% dos casos nenhum sensor registrou a inversão. O tempo de antecedência médio encontrado foi de 21,3 minutos.

A análise feita a partir da separação das tempestades nas que se desenvolvem diretamente sobre a área coberta pela rede de monitoramento (Convecção Local) e nas que se deslocam em direção à área coberta pela rede a partir de outra região (Sistema se Aproximando), mostra que o critério apresentou um desempenho melhor para as tempestades pertencentes ao primeiro tipo. Para as 75 tempestades classificadas como “Sistemas se Aproximando” o sistema alertou corretamente 27 delas, 36% dos casos, com um tempo médio de antecedência de 25,4 minutos para o disparo do alerta. Com relação às 58 tempestades classificadas como “Convecção Local” o sistema apresentou um desempenho ligeiramente melhor, alertando corretamente 26 delas, 45% dos casos, com um tempo médio de antecedência de 16,3 minutos para o disparo do alerta.

Em relação ao estudo realizado por Ferro (2010) utilizando um único sensor, numa área inserida dentro da área de cobertura avaliada neste estudo, e que apresentou uma eficiência na emissão de alerta de risco de ocorrência de relâmpago de 60%, com tempo de antecedência médio de 13 minutos, a atual rede de monitoramento do campo elétrico atmosférico apresentou uma piora na eficiência da emissão de alerta de risco de ocorrência de relâmpago baseado no critério da inversão da polaridade do campo elétrico atmosférico, apesar dos alertas emitidos corretamente terem sido disparados com um tempo de antecedência maior.

## Referências

Aranguren, D.; Montanya, J.; Sola, G.; March, V.; Romero, D.; Torres, H. On the lightning hazard warning using electrostatic field: Analysis of summer thunderstorms in Spain. *Atmospheric Research*, (2009) doi:10.1016/j.elstat.2009.01.023.

Beasley, W.H.; Williams, D.E.; Hyland, P.T. “Analysis of surface electric-field contours in relation to cloud-to-ground lightning flashes in air-mass thunderstorms at the Kennedy Space Center”. 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). *Proceedings*. Tucson, 2008.

Ferro, M. A. S.; Saba, M. M. F.; Naccarato, K. P.; Yamasaki, J.; Pimentel, D. R. M. “Cloud-to-ground lightning warnings based on electric field-mill measurements in Brazil”. International Conference on Lightning Protection (ICLP). *Proceedings*. Cagliari, Italy, 2010.

Holle, R.L.; Lopez, L.J.; Ortiz, R.; Watson, A.I.; Smith, D.L.; Decker, D.M.; Paxton, C.H. “Cloud-to-ground lightning related to deaths, injuries, and property damage in Central Florida”. International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity. *Proceedings*. Atlantic City, 1992.

Holle, R.L.; Murphy, M.J.; Lopez, R.E. “Distances and times between cloud-to-ground flashes in a storm”. International Conference on Lightning and Static Electricity (ICLSE). *Proceedings*. Blackpool, 2003.

Lengyel, M.M., “**Lightning casualties and their proximity to surrounding cloud-to-ground lightning**”. *M.S. Thesis*. University of Oklahoma, 2004

Montanya, J.; Aranguren, D.; Pineda, N.; Sola, G.; Romero, D.; March, V. “Total lightning, electrostatic field and meteorological radar applied to lightning hazard warning” . 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). *Proceedings*. Tucson, CD-ROM, 2008.

Murphy, M.J.; Cummins, K.L. “Early detection and warning of cloud-to-ground lightning at a point of interest”. 2nd Symposium on Environmental Applications. *Proceedings*. American Meteorological Society, Long Beach, 172-177, 2000.

Murphy, M.J., Demetriades, N.W.S., Cummins, K.L., 2002, “Probabilistic early warning of cloud-to-ground lightning at an airport. 16th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences”. *Proceedings*. American Meteorological Society, Orlando, p. 126-131.

Murphy, M.J.; Holle, R.L. “A warning method for the risk of cloud-to-ground lightning based on total lightning and radar information”. International Conference on Lightning and Static Electricity (ICLSE). *Proceedings*. The Boeing Co., Seattle, 2005.

Murphy, M.J.; Holle, R.L. “Warnings of cloud-to-ground lightning hazard based on combinations of lightning detection and radar information”. 19th International Lightning Detection Conference (ILDC). *Proceedings*. Tucson, CD-ROM, 2006.

Murphy, M.J.; Holle, R.L.; Demetriades, N.W.S. “Cloud-to-ground lightning warnings using electric field mill and lightning observations”. 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). *Proceedings*. Tucson,, 2008.

Naccarato, K.P.; Pinto Jr., O.; Ferreira Jr., H.H. “Cloud-to-ground lightning forecast based on lightning location system information and electric field-mill data”. International Conference on Grounding and Earthing (GROUND'2008) & 3th International Conference on Lightning Physics and Effects (LPE). *Proceedings*. Florianópolis, Brazil, 2008.