



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



## **CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS DE TEMPESTADE DURANTE A OCORRÊNCIA DE RAIOS POSITIVOS**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Alexandre Augusto Rocha de Carvalho Júnior (UNIFESP / BCT, Bolsista  
PIBIC/CNPq)

E-mail: [alexandre.junior@unifesp.br](mailto:alexandre.junior@unifesp.br)

Dr. Marcelo Magalhães Fares Saba (DGE/INPE, Orientador)

E-mail: [msaba@dge.inpe.br](mailto:msaba@dge.inpe.br)

INPE  
São José dos Campos

# **CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS DE TEMPESTADE DURANTE A OCORRÊNCIA DE RAIOS POSITIVOS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Alexandre Augusto Rocha de Carvalho Júnior (UNIFESP / BCT, Bolsista  
PIBIC/CNPq)**

**E-mail: alexandre.junior@unifesp.br**

**Dr. Marcelo Magalhães Fares Saba (DGE/INPE, Orientador)**

**E-mail: msaba@dge.inpe.br**

**Julho de 2012**

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Marcelo Magalhães Fares Saba, por sua dedicação e por todos seus conselhos como orientador e como amigo, durante todo esse tempo. Agradeço ainda o apoio da doutoranda Carina Schumann, e dos companheiros de iniciação científica Raphael B. Guedes e Shaline F. Viegas, dentro da pesquisa e pelos momentos de descontração.

## **RESUMO**

Este trabalho foi iniciado em julho de 2011, e uma substituição de bolsista ocorreu em dezembro de 2011. A abordagem principal do trabalho é sobre a influência dos diversos tipos de tempestades sobre a ocorrência de raios positivos. Durante o período foram analisados a estrutura meteorológica e os conceitos físicos característicos dessas nuvens, mais concretamente a nuvem **Cumulonimbus (Cb)**, que produz raios. As nuvens tiveram suas análises feitas através de dados obtidos por satélite (GOES) que mostra as imagens em tons realçados e normal conforme a temperatura da região visualizada. Foi feita também a análise da carta sinótica do respectivo dia de tempestade para entender o contexto climático da formação de tais nuvens. No quesito chuvas, analisaram-se as imagens obtidas por um radar meteorológico. Com a temporada de raios 2011/2012 feita em São José dos Campos e no Pico do Jaraguá em São Paulo, as imagens do radar (REDEMET) de São Roque (400 km) são as que exprimem dados confiáveis em relação à precipitação daquela tempestade. Durante o período foi filmado pela primeira vez no Brasil, um raio ascendente (RA). No final do verão o número de ascendentes registrados foi de 15 raios. Dentro da análise desses RA em alguns casos a presença de um raio positivo antecedendo a descarga ascendente.

**PALAVRAS CHAVE:** RAIOS, NUVENS, TEMPESTADES, RELÂMPAGOS.

## **ABSTRACT**

This work was started in July of 2011, and a storm replacement occurred in December 2011. The main approach is about the influence of the various types of storms on the occurrence of positive flashes. During the period analyzed the meteorological and physical structure characteristic concepts of these clouds, Cumulonimbus cloud (Cb), which produces lightning. The clouds had their analyses made through data obtained by satellite (GOES) which shows the grayscale images highlighted and normal as the temperature of the region displayed. Was also made the analysis of synoptic chart of their stormy day to understand the climate context of formation of such clouds. In terms of rainfall, analyzed the images obtained by a radar. With the lightning season 2011/2012 made in São José dos Campos and the Pico do Jaraguá in São Paulo, the images of the radar (REDEMET) in São Roque (400 km) are those that are trusted in relation to precipitation data from that storm. During the period was filmed for the first time in Brazil, a up flash (RA). At the end of the summer the number of registered upward was 15 rays. Within the analysis of RA in some cases the presence of a positive RADIUS download prefacing upward.

**KEY-WORDS:** FLASHES, CLOUDS, STORMS, LIGHTNING.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
FIGURA 1.1 – Fotografia de um relâmpago ocorrido em RapidCity,USA .....	2
FIGURA 1.2 – Etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo.....	5
FIGURA 2.1 – A câmera PhotronFastcam PCI 512.....	7
FIGURA 2.2 – Torre de observação do CTA/IAE/AEL.....	8
FIGURA 2.3 – Sensor de campo elétrico localizado na torre.....	8
FIGURA 2.4 –Sensor de campo elétrico no solo.....	9
FIGURA 2.5 – Pico do Jaraguá, São Paulo .....	9
FIGURA 2.6 – Medida de campo elétrico rápido e lento .....	10
FIGURA 2.7 – Detalhes da montagem do sensor de campo rápido. ....	10
FIGURA 2.8 – Detalhes da montagem do sensor de campo lento.....	11
FIGURA 2.9 – Software Datalogger para campos com o GPS integrado .....	11
FIGURA 2.10 – Software Dataviewer usado na análise dos campos.....	12
FIGURA 2.11 – Software Net Raios usado para localizar descargas elétricas.....	12
FIGURA 2.12 – Campo elétrico rápido .....	13
FIGURA 2.13 – Campo elétrico lento .....	13
FIGURA 2.14 – Planilha de Controle .....	14
FIGURA 3.1–Imagem de radar do dia 15/03/2012.....	17
FIGURA 3.2–Imagem de satélite realçada do dia 15/03/2012 .....	18
FIGURA 3.3–Imagem do campo elétrico do ascendente 7.. .....	19
FIGURA 3.4–Representação gráfico do Field Mill do raio.....	20
FIGURA 3.5–Imagem do raio ascendente no Pico do Jaraguá, dia 15/03/2012.....	20
FIGURA 3.6 –Tabela de descrição dos raios ascendentes.....	21
FIGURA 3.7 –Imagem de satélite da tempestade - 15/01/2012. ....	21
FIGURA 3.8 –Imagem de satélite da tempestade - 10/03/2012. ....	22
FIGURA 3.9 –Imagem de satélite e de radar da tempestade - 15/03/2012.....	23
FIGURA 3.10 –Imagem de satélite e de radar da tempestade - 23/03/2012.....	23
FIGURA 3.11 –Imagem de satélite e de radar da tempestade - 27/03/2012.....	24
FIGURA 3.12 –Imagem de satélite e de radar da tempestade - 12/04/2012.....	24

## Sumário

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	1
1.1 Histórico.....	1
1.2 Definição, Tipos de Relâmpagos e Características.....	2
1.2.1 Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características.....	3
1.2.2 Breve Descrição do Relâmpago NS Positivo.....	5
1.3 Objetivos do Trabalho .....	6
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
2.1 Materiais e Métodos utilizados .....	7
2.2 Procedimento das Observações .....	14
3. RESULTADOS .....	16
3.1 Campanha de Coleta de Dados 2011-2012.....	16
3.2 Análise de Dados .....	16
3.3 Descrição e apresentação dos resultados .....	16
4. Conclusão .....	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26

# 1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 Histórico

A presença de positivos correspondem, em média, somente 10% do número total de raios produzidos durante uma tempestade. Mesmo possuindo uma representatividade baixa perante o total de descargas, essas influências positivas são responsáveis por danos mais intensos do que os raios negativos, isso se deve ao fato de geralmente possuírem pico de corrente alta e corrente contínua de longa duração. Geralmente raios positivos são precedidos por uma descarga intra-nuvem intensa e de longa duração.

A ocorrência de relâmpagos em nosso planeta é bastante comum e mais antiga do que a própria humanidade. O estudo destes fenômenos no Brasil teve início há 31 anos, durante este período foi possível observar algumas características diferentes daquelas relatadas na literatura internacional. Justificando assim a continuidade dos esforços já realizados neste sentido.

O relâmpago está entre os fenômenos naturais que mais causam mortes nos Estados Unidos (WOOD, 1988), sendo que no Brasil ele é responsável por 100 a 200 mortes por ano além de causar um prejuízo anual em torno de 500 milhões de dólares (PINTO,PINTO, 2000).

Considerando os efeitos naturais dessas descargas e sua influência no meio onde o ser humano está inserido, nota-se do ponto de vista do desenvolvimento que vários setores de atividades são prejudicados diretamente pelos relâmpagos. Transmissão de energia elétrica e telecomunicações são os maiores afetados, mas eles também constituem uma grande ameaça para indústrias e edifícios (comerciais ou residenciais), além da própria segurança das pessoas. Os sistemas de proteção hoje utilizados são desenvolvidos a partir de observações e dados de raios obtidos em outros países (e fora da região tropical, caso em que o Brasil se encaixa), o que aumenta a importância de se possuir mais dados dos casos ocorridos em nossa região. Os dados colhidos dos relâmpagos no Brasil são baseados em parâmetros fornecidos pela BrasilDat, um conjunto de 47 sensores localizados no Brasil que pertence a um consórcio de empresas com participação do INPE (PINTO, 2003). Imagens de câmeras rápidas e dados de campo



elétrico de raios naturais. Ambos sincronizados e com horário universal (GPS) com precisão de milissegundo (BALLAROTI et al., 2005; SABA et al., 2006). E ainda um auxílio dos serviços meteorológicos como Radares e Cartas Sinóticas.

## 1.2 Definição, Tipos de Relâmpagos e Características

Um relâmpago é definido como sendo uma descarga transitória de alta corrente cujo comprimento percorrido tem dimensão de quilômetros (UMAN, KRIDER, 1989). A priori, uma nuvem não necessita estar envolvida com o fenômeno, mas geralmente ocorre a participação de um tipo específico de nuvem: a nuvem de tempestade é conhecida por *cumulonimbus*. A FIGURA 1.1 mostra uma fotografia de um relâmpago ocorrido em RapidCity, USA.



FIGURA 1.1 – Fotografia de um relâmpago ocorrido em RapidCity, USA.

Os tipos de relâmpagos se caracterizam em função de sua origem e do ponto onde terminam. Eles podem ser classificados em; (1) aqueles que permanecem no céu (chamado Intranuvem ou IN) e, (2) aqueles que tocam o solo (Nuvem-solo, NS ou Solo-nuvem, SN)

Os relâmpagos IN são os mais frequentes (cerca de 80% do número total global de relâmpagos), mas de difícil estudo por ocorrerem em meio à opacidade da nuvem. Sua

investigação requer o uso de radares e antenas de rádio frequência. Podem ser considerados como curto-circuito durante o processo de separação de cargas que ocorre durante a tempestade no interior da nuvem (PINTO,PINTO, 2000).

Os relâmpagos que envolvem o solo, nuvem-solo e solo-nuvem, embora não sejam os mais frequentes, são os mais estudados por estarem mais acessíveis à observação visual facilitando a observação instrumentada também por causa do perigo que apresentam. Os relâmpagos que envolvem o solo são denominados usualmente por raios. Estes, por sua vez, podem ser divididos em dois tipos: os *negativos* e os *positivos* dependendo da polaridade predominante das cargas na região da nuvem onde se originam. Assim, existem quatro subtipos: NS negativo, NS positivo, SN negativo e SN positivo.

Os relâmpagos nuvem-solo negativos “nascem” no centro negativo de cargas próximo à base da nuvem e, em geral, são mais frequentes que os positivos. Os relâmpagos positivos são menos conhecidos, e só foram estudados mais detalhadamente nas últimas décadas. Acredita-se que, na maior parte das vezes, eles se originam no centro positivo de cargas transportando do solo para nuvem uma carga negativa, ou seja, equivalente à transferência de cargas positivas para o solo (SABA, 1997). A polaridade da descarga é determinada, portanto, pela polaridade da carga (resultante) depositada no solo.

Os relâmpagos Solo-Nuvem são raros em comparação com os nuvem-solo, originando-se geralmente de pontos elevados tais como torres, edifícios, montanhas e árvores.

### **1.2.1 Relâmpagos NS Negativos: Etapas e Características**

Um relâmpago nuvem-solo negativo segue geralmente seis etapas, nesta ordem, a saber:

(a) Pulso de Quebra de Rigidez ou descarga p-N: Os relâmpagos negativos para o solo começam com uma descarga entre o centro positivo menor na base da nuvem e o centro negativo para a liberação dos elétrons ligados às partículas de água ou gelo. Esta descarga é conhecida como Pulso de Quebra de Rigidez;

(b) *líder escalonado*: Uma fraca descarga luminosa (geralmente não visível) se propaga em direção ao solo, criando um canal ionizado (caminho condutor). Essa descarga, denominada líder escalonado (*stepped leader*), propaga-se para baixo até aproximadamente 5 a 50 m do solo, com velocidade média da ordem de  $10^5$  m/s. O líder

escalonado geralmente ramifica-se, mas nem todos os seus ramos estendem-se até o solo (FIGURA 1.2b);

(c) *descarga conectante*: Uma descarga conectante surge com a intensificação do campo elétrico entre a parte frontal do líder escalonado e o solo. Tal descarga geralmente parte de objetos pontiagudos existentes na superfície, como árvores e edifícios, e desloca-se em direção à parte frontal do líder escalonado;

(d) *descarga de retorno*: Quando o encontro ocorre, a descarga conectante transforma-se numa descarga forte e de intensa luminosidade, denominada descarga de retorno (*returnstroke*). É justamente essa descarga que é vista como um clarão. Ainda que preferencialmente o relâmpago atinja os objetos mais altos, isso nem sempre acontece. Na descarga de retorno, as cargas negativas (elétrons) presentes no canal já ionizado pelo líder escalonado são aceleradas, o que cria uma corrente ascendente (os elétrons fluem da nuvem para o solo) com picos de 30 kA. A velocidade de propagação da frente de onda (ou da luminosidade ao longo do canal) é da ordem de  $10^8$  m/s (um terço da velocidade da luz). A duração de tal descarga é de aproximadamente 70 microssegundos. Em média, ocorrem três descargas por relâmpago, mas há registros de casos com até 26 descargas (FIGURA 1.2d,e);

(e) *líder contínuo*: O líder contínuo (*dartleader*) se dá quando o canal do raio está fracamente ionizado e, assim, este líder deve ionizá-lo novamente. Caracteriza-se como um líder por possuir baixa intensidade de corrente. Possui velocidade característica de  $(1-2) \cdot 10^7$  m/s. Esta etapa ocorre somente quando, de alguma forma, existem cargas disponíveis próximas do canal feito anteriormente (FIGURA 1.2f,h);

(f) *descarga de retorno subsequente*, **sendo que as etapas (e) e (f) podem se repetir várias vezes ou mesmo não ocorrer** (SABA, 1997): Após o líder contínuo ter ionizado o canal, outra descarga ocorre, sendo esta chamada descarga subsequente (*subsequentstroke*). A diferença essencial entre descargas de retorno e subsequente é que a primeira é precedida de líder escalonado, pois não existe canal algum, enquanto que a segunda é precedida por um líder mais veloz, que apenas refaz um canal previamente existente (FIGURA 1.2g,i);

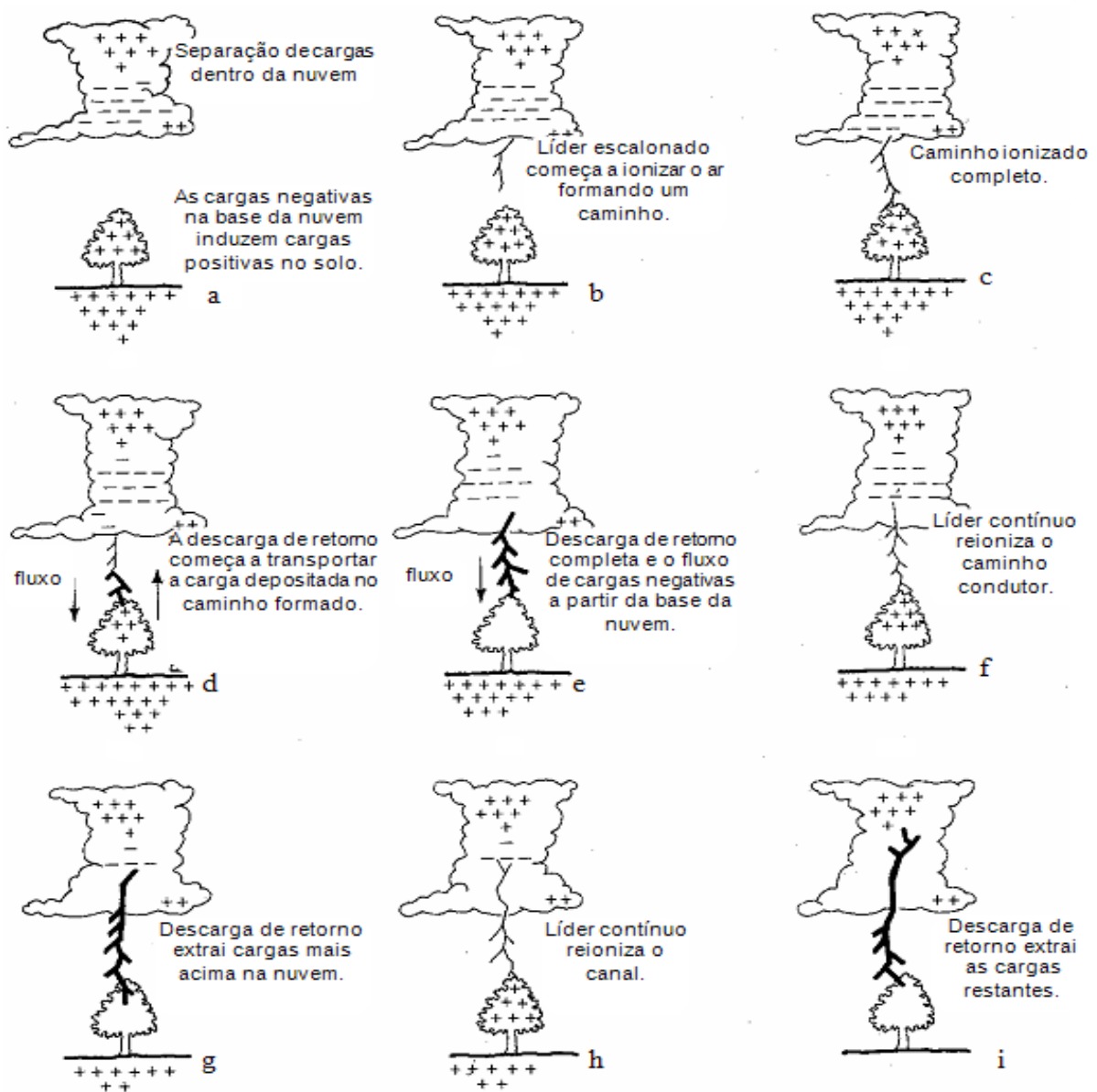


FIGURA 1.2 – Etapas de um relâmpago nuvem-solo negativo.

FONTE: modificada de Lutgens e Tarbuck (1982, p. 244).

### 1.2.2 Breve Descrição do Relâmpago NS Positivo

Os relâmpagos nuvem-solo positivos segue de um modo geral as mesmas etapas descritas para os negativos, porém com algumas diferenças. Em geral, inicia-se a partir de um líder com uma luminosidade mais fraca se comparada ao líder escalonado de um NS negativo; tal líder propaga-se a partir de uma região de cargas positivas dentro da

nuvem, não apresentando etapas e sim uma luminosidade contínua, porém com variações periódicas de intensidade. Outra característica importante é o número de descargas de retorno: somente uma na maioria das vezes. Costumam também apresentar corrente contínua mais longa (transferem maior quantidade de carga elétrica para o solo) do que os NS negativos, tornando-se mais destrutivos e sendo responsáveis pela maioria dos incêndios.

### **1.3Objetivos do Trabalho**

- Analisar vídeos obtidos em campanhas anteriores paralelamente a um estudo dirigido da literatura.
- Auxiliar em uma nova campanha de coleta de dados em São José dos Campos e em São Paulo fazendo a análise dos mesmos.
- Obter informações do tipo de nuvem, em todas suas características, durante a ocorrência de raios positivos, para se obter um parâmetro padrão, diferenciando de uma nuvem de descarga polar negativa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais e Métodos utilizados

No período da bolsa PIBIC (2011-2012), realizou-se diversas análises de relâmpagos positivos e negativos utilizando dados coletados através de duas câmeras de alta resolução temporal e através de antenas sensíveis ao campo elétrico (lento e rápido) obtidos durante as tempestades. O uso dos três instrumentos é de grande importância para determinar exatamente o tempo entre as descargas dos raios. As câmeras de alta velocidade às vezes não conseguem visualizar algumas descargas dos raios. Com a ajuda do campo elétrico rápido é possível detectar estas descargas não observadas pela câmera. O campo elétrico lento, consegue perceber a presença da corrente contínua. Essa descarga, geralmente de pequena intensidade pode não ser evidente no registro do campo elétrico rápido.

Para realizar as filmagens de relâmpagos são usadas as câmeras PhotronFastcam 512 PCI (FIGURA 2.1) e Red Lake Motion Scope 8000S. Com as câmeras de alta velocidade pode-se definir a quantidade de quadros que será gravado antes do evento. Cada disparo é iniciado manualmente, pressionando um botão quando o raio ocorre. Os vídeos têm a duração total de 2 segundos (2.000 frames), sendo que 1s é o tempo de pré-disparo. O tempo de pré-disparo é necessário para evitar a perda das primeiras descargas elétricas (SABA et AL,2006).



Figura 2.1. A câmera *PhotronFastcam PCI 512*.

A torre (Figura 2.2) localizada no CTA possui cerca de 23m de altura e com isso facilita a observação dos raios, que podem ser observados a até 80 km de distância. Com o acesso a internet, é possível observar o deslocamento das nuvens de tempestades através de imagens de satélite e radar. Na campanha de verão iniciada em 2011 e o período de elaboração deste relatório foi possível observar cerca de 100 vídeos gravados na torre.



Figura 2.2. Torre de observação.

Os sensores de campo elétrico foram desenvolvidos para medir a variação do campo elétrico e a duração da corrente contínua produzida pelas descargas elétricas. Um destes sensores está localizado no topo da torre no CTA (FIGURA 2.3), já o segundo está localizado no solo próximo dessa torre (FIGURA 2.4).



Figura 2.3. Sensor de campo elétrico localizado na torre.



Figura 2.4. Sensor de campo elétrico no solo.

Na campanha 2011-2012 algumas câmeras observaram raios no Pico do Jaraguá (FIGURA 2.5), situado na cidade de São Paulo, onde pelo sistema de detecção de raios, havia a evidência de uma grande intensidade de descargas atmosféricas localizadas nessa região.



Figura 2.5. Pico do Jaraguá, São Paulo



A torre influencia na mediçãodo campo elétrico, com isso o resultado obtido pelo sensor no solo e pelo sensor localizado na torre é diferenciado. Na FIGURA 2.6 podemos observar um caso onde essas diferenças são mostradas.

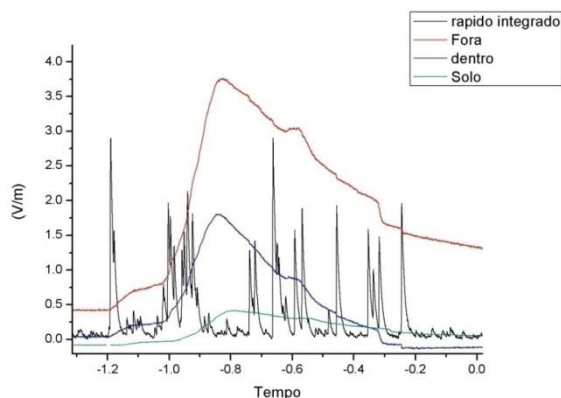


Figura 2.6. Medida de campo elétrico rápido e lento.

É possível notar na Figura 2.6 que a amplificação do campo é de 6,5 vezes na antena localizada na região externa do topo da torre e de 3,5 vezes na antena na região interna do topo da torre. Para que os sensores de campo rápido (FIGURA 2.7) e campo lento (FIGURA 2.8) funcionem corretamente são necessários equipamentos e programas correspondentes ao tipo de sensor.

#### Montagem do Campo Rápido:

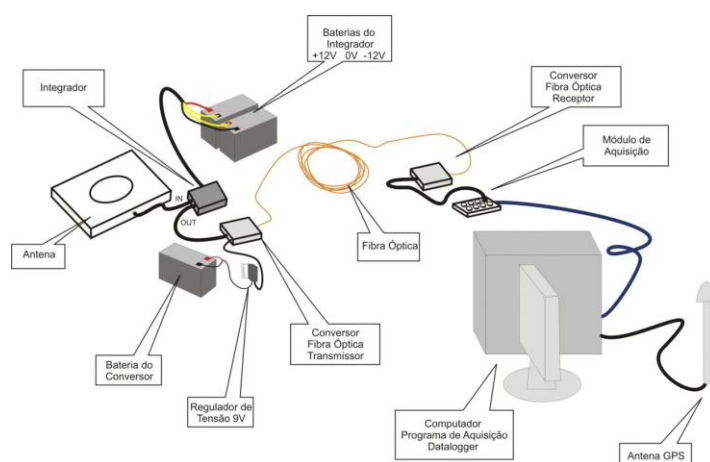


Figura 2.7. Detalhes da montagem do sensor de campo rápido.

## Montagem do Campo Lento:

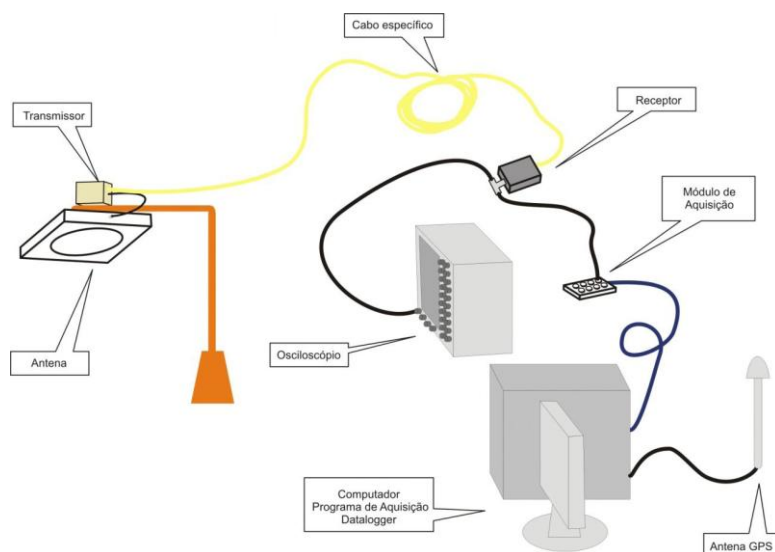


Figura 2.8. Detalhes da montagem do sensor de campo lento.

Além dos equipamentos representados nas figuras, também são necessárias a instalação de uma placa GPS no computador e para que os sensores funcionem perfeitamente é necessário que os *softwares* sejam instalados. Os programas de aquisição são:

- Software GPS e Datalogger: o software GPS permite que as informações de data, hora e local estejam integradas com o momento em que a aquisição do campo acontecer. O software Datalogger (FIGURA 2.9) é usado para a aquisição dos campos. O programa grava uma sequência de arquivos (.bin) de cada segundo.



Figura 2.9. Software Datalogger para a aquisição de campos com o GPS integrado.

- Dataviewer (FIGURA 2.10): Software usado para visualização dos arquivos dos campos rápido e lento. Neste programa existem quatro canais que permitem uma visualização satisfatória dos campos, podendo ser dois canais para cada tipo de campo.

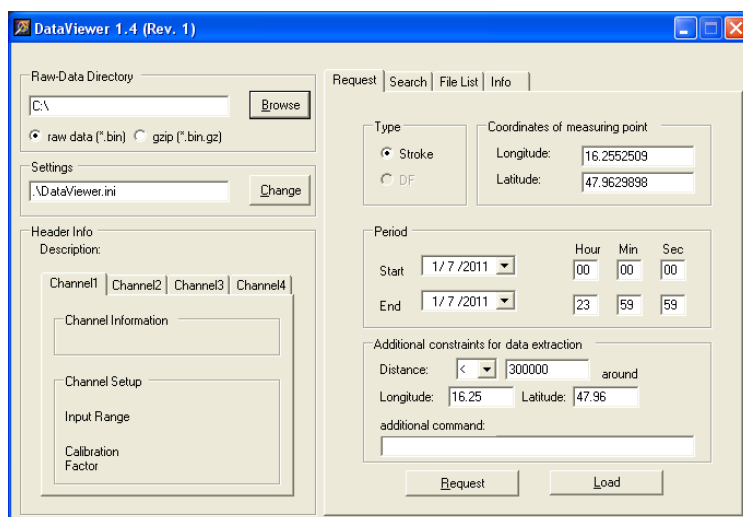


Figura 2.10. Software Dataviewer usado na análise dos campos.

- Net Raios (FIGURA 2.11) : É um software que localiza geograficamente os locais onde as descargas estão acontecendo, pode também identificar a polaridade do raio e o pico de corrente (JR,PINTO , 2006)

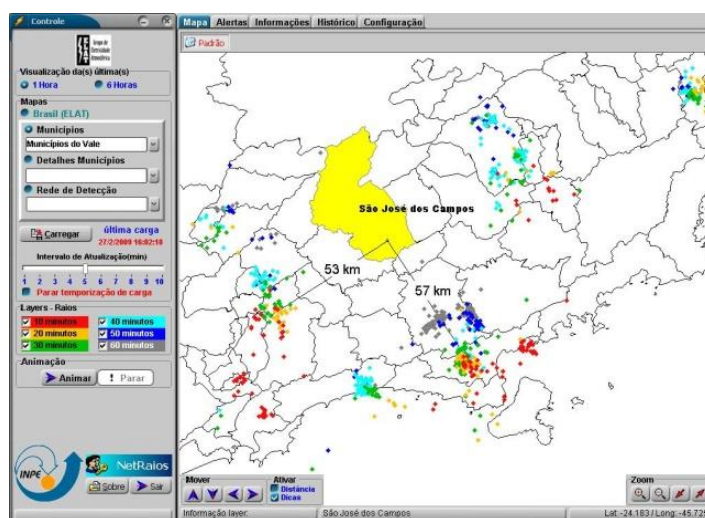


Figura 2.11. Software Net Raios usado para localizar descargas elétricas.

Com a análise do campo rápido e lento pode-se chegar a uma conclusão exata sobre descargas elétricas, quantas ocorreram e o momento em que ocorreram.

A seguir, podem-se observar dois exemplos de campo elétrico rápido (FIGURA 2.12) e o campo elétrico lento (FIGURA 2.13).

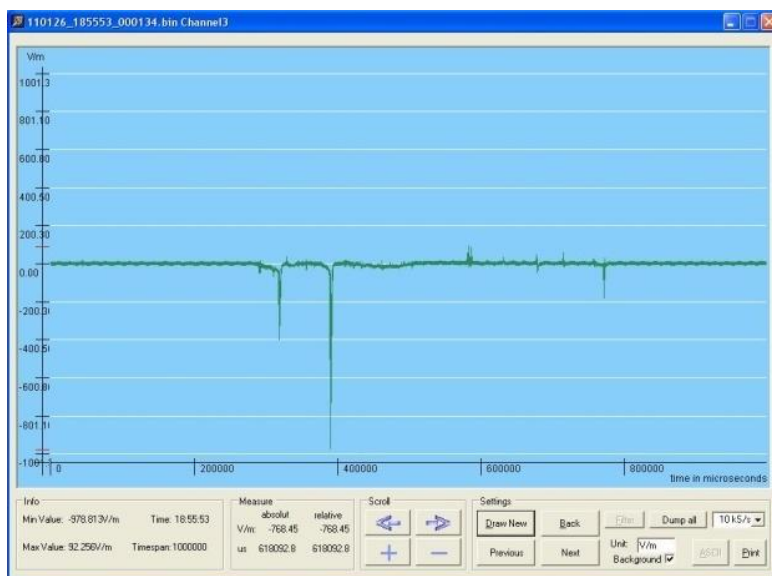


Figura 2.12. Campo elétrico rápido

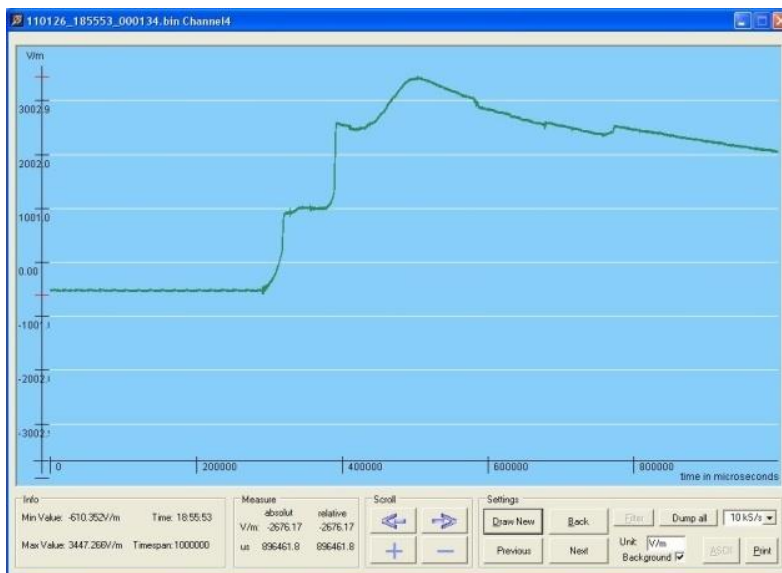


Figura 2.13. Campo elétrico lento

Com o uso dessas ferramentas para a coleta e análise de descargas elétricas podemos obter ótimos resultados. Os dados coletados e os resultados obtidos são preenchidos em uma planilha de forma padrão (FIGURA 2.14), contendo todas as informações sobre os campos elétricos, strokes, e vídeos.

MATRIZ	Local	Vídeo	Câmera	Ano	Mês	Dia	Hora	Min	Seg	ms	Frame	Visibilidade	Tipo
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,509000	509	-1868	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,522000	522	-1815	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,527000	527	-1794	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,595000	595	-1523	d	ic
9	SJC	9	HS2	2010	10	1	14	52	39,619000	619	-1428	d	ic
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,331000	331	-2579	v	rl
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,357250	357	-2475	v	cg
9	SJC	11	HS2	2010	10	1	14	57	1,375000	375	-2403	v	m
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,223	223	-3010	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,27525	275	-2803	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,29	290	-2744	v	rl
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,365	365	-2444	v	spider
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,43975	439	-2145	v	rl
9	SJC	12	HS2	2010	10	1	15	2	14,4655	465	-2042	v	rl
9	SJC	17	HS2	2010	10	26	1	9	41,176	176	-2520	v	cg
9	SJC	17	HS2	2010	10	26	1	9	41,177	177	-2516	v	m
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,03625	36	-3958	v	spider
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,05775	57	-3872	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,17575	175	-3400	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,22125	221	-3218	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,2405	240	-3141	v	rl
9	SJC	18	HS2	2010	10	26	1	37	49,26575	263	-3040	v	ic
9	SJC	19	HS2	2010	11	22	18	24	12,9015	901	-3734	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,511750	511	-3879	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,609750	609	-3487	v	ic
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,660500	660	-3284	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,661750	661	-3279	v	m
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,797500	797	-2736	v	cg
9	SJC	20	HS2	2010	11	22	18	30	4,798500	798	-2732	v	m
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,417250	417	-2326	v	cg
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,446250	446	-2210	v	cg
9	SJC	21	HS2	2010	11	25	20	41	20,531250	531	-1870	v	cg

Figura 2.14. Planilha de Controle

Além do tempo do tempo dedicado ao preenchimento da planilha, análise dos campos elétricos e dos vídeos também foi dedicada uma parte do tempo a leitura de artigos que possibilitou uma maior compreensão dos trabalhos realizados anteriormente.

## 2.2 Procedimento das Observações

A obtenção dos dados foi realizada com um operador, que, basicamente, realizava as seguintes funções com a câmera rápida: (1) a câmera é direcionada para a tempestade em observação. (2) A luminosidade é ajustada para que se tenha um contraste luminoso adequado do cenário. (3) Ao visualizar um raio, o operador pressiona um botão de

*trigger* (acionamento) do sistema; aqui, é utilizado um recurso computacional chamado Fila Circular, que consiste em gravar dados continuamente em uma determinada região de memória e, quando o ponteiro (que indica a posição de memória a ser utilizada) chega à sua última posição, o programa aponta para a primeira posição da memória. Assim, ao se acionar o pulso de *trigger*, as imagens serão gravadas, consistindo de imagens passadas e futuras em relação ao momento do *trigger*. Ou seja, ao configurar o *trigger* em 50%, a gravação do filme registrará 1,0 segundo de imagens anteriores e 1,0 segundo de imagens posteriores ao momento do *trigger*. Como o tempo de resposta típico dos operadores (intervalo de tempo este entre os momentos do evento e o do acionamento manual) está em torno de 400 ms, geralmente registramos 0,6 s antes da ocorrência da 1ª descarga de retorno e 1,4 s após esta ocorrência. Dado que a duração máxima de um raio está em torno de 1,0 s, tal ajuste de 50% mostrou-se o mais eficaz na captura de todas as fases do raio.

A operação da antena de campo elétrico se dá de forma semelhante, com esta locada sobre a torre de observação na parte exterior desta. O operador pressiona também um botão *trigger* simultaneamente com o da câmera, que faz com que o computador grave os dados obtidos módulo de aquisição BNC-6110 utilizando o mesmo recurso computacional de fila circular (explicado acima). No caso do campo elétrico a aquisição se dá em um período mais longo, normalmente de 2 a 3 segundos antes mais 2 a 3 segundos depois do acionamento do *trigger*, garantindo que todo o intervalo de tempo coberto pela câmera seja também registrado pelo campo elétrico.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Campanha de Coleta de Dados 2011-2012**

A Campanha de aquisição de novos dados de tempestades teve início em outubro de 2011 e encerrou em abril de 2012. Durante esse tempo foram filmados aproximadamente 150 raios. Dentro desse número, foi filmado pela primeira vez no Brasil 15 RA (raios ascendentes).

### **3.2 Análise de Dados**

Em paralelo à obtenção dos vídeos realizou-se o trabalho de obtenção de dados de satélite, radar e campo elétrico, para se fazer uma seleção de quais seriam os casos que se mostravam viáveis à análise.

### **3.3 Descrição e apresentação dos resultados**

Obedecendo o propósito da pesquisa, foi realizado durante toda a temporada de “caça” aos raios na torre do CTA localizada em São José dos Campos e no Pico do Jaraguá localizado em São Paulo. A partir do momento em que o vídeo chegava ao laboratório, se iniciava o processo de análise. Com os dados de radar meteorológico (FIGURA 3.1), satélite (FIGURA 3.2), campo elétrico (FIGURA 3.3), field mill (FIGURA 3.4), carta sinótica, imagem do raio (FIGURA 3.5) separou-se todos os componentes do dia da tempestade segundo a hora em que a descarga atmosférica ocorreu.

A pesquisa passou sim por muitas análises de vídeo, mas o foco principal era nas tempestades que geravam os raios positivos, responsáveis também pelos RA. Durante a pesquisa, precisamente no mês de janeiro de 2012, foi registrado no Brasil o primeiro raio ascendente filmado, e até o mês de abril ocorreram mais 14 “Upwards”. Sob análise de dados do sistema tanto da Rindat quanto da WeatherBug, foi possível notar em alguns casos a presença de um raio positivo antecedendo o pulso do ascendente. Assim, os dados selecionados para esta análise foram dos dias em que ocorreram ascendentes.

Ilustramos agora os dados para definir as características de uma nuvem durante a tempestade que gera raios positivos. Foi selecionado o raio ascendente de número 7 que ocorreu no dia 15 de março de 2012.

Serão apresentados agora, os dados desse raio:

### 1. Radar Meteorológico

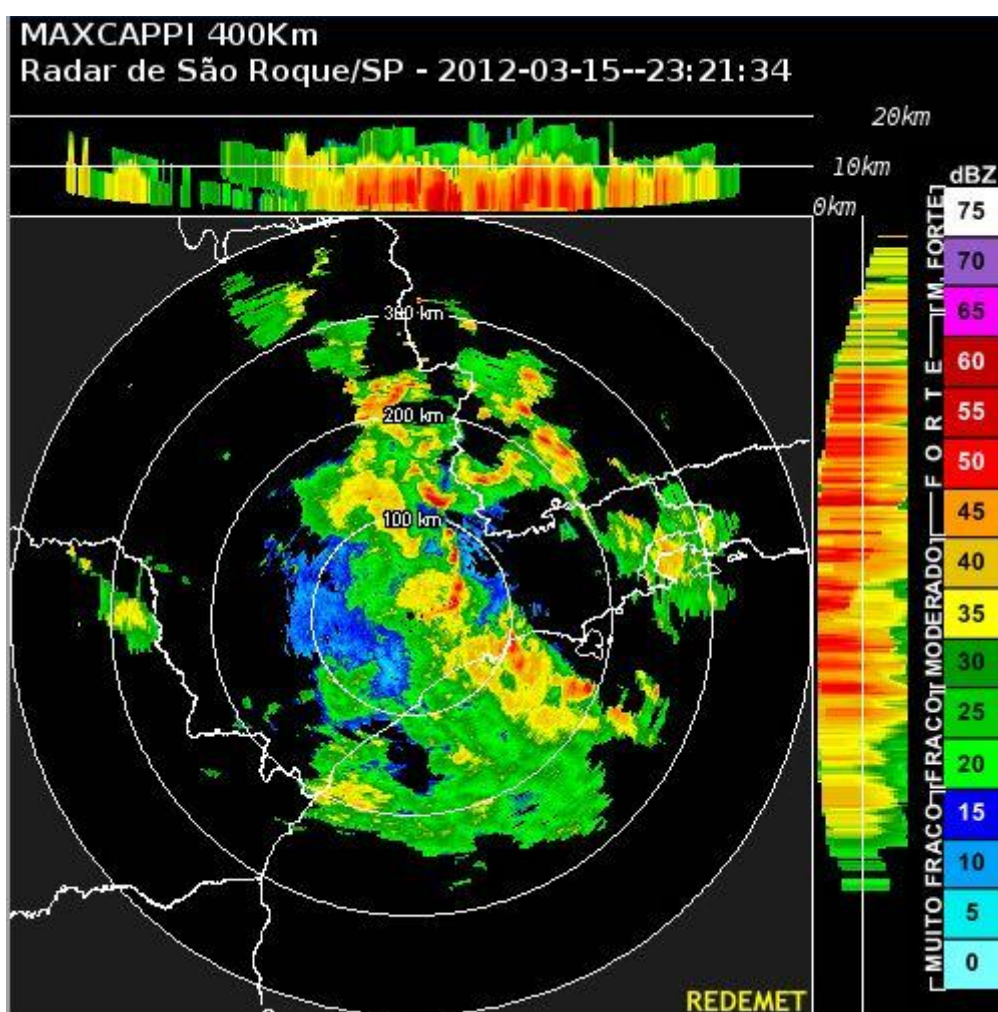


Figura 3.1 Imagem de radar do dia 15/03/2012



## 2. Satélite (GOES)

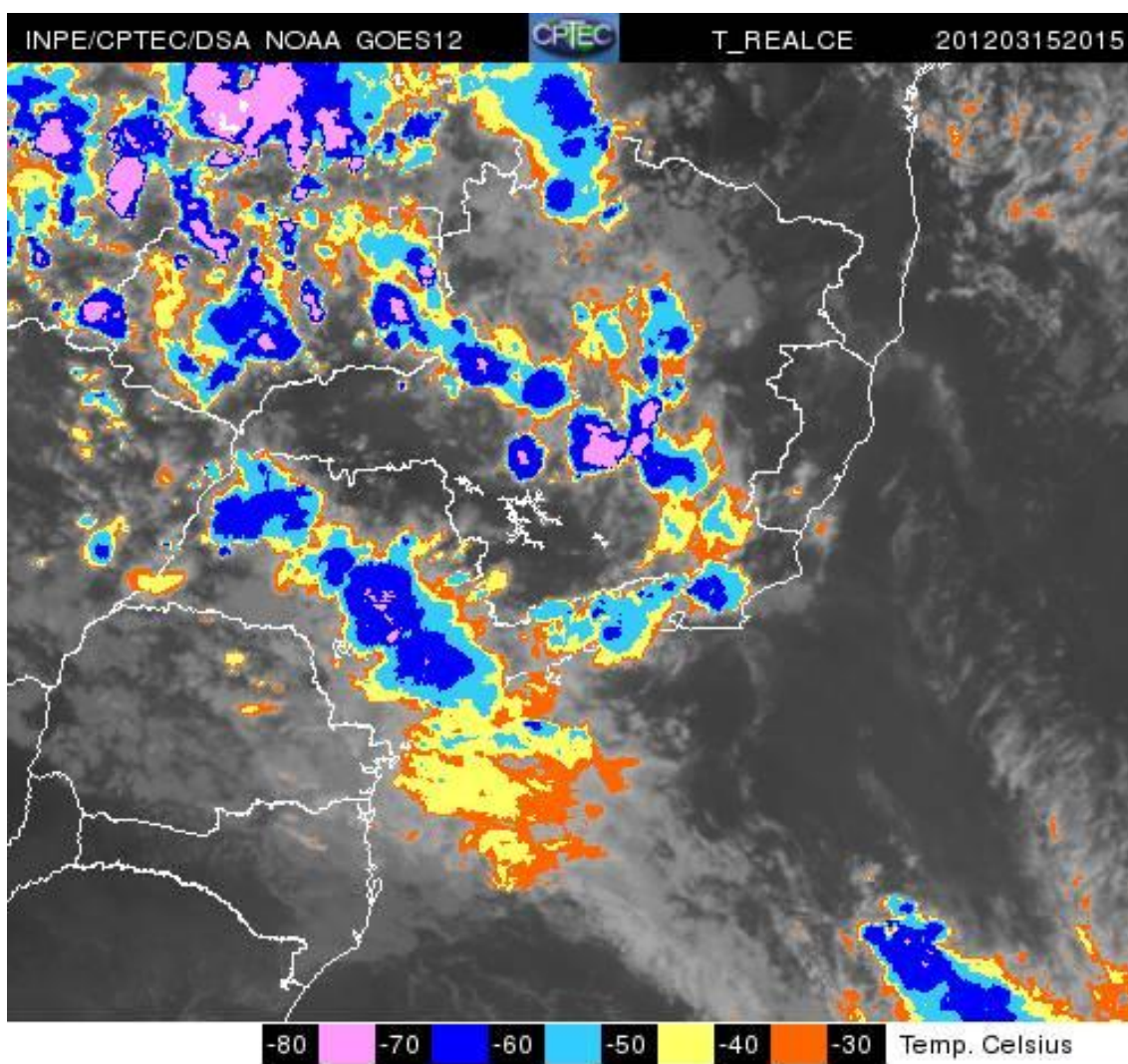


Figura 3.2 Imagem de satélite realçada do dia 15/03/2012

### 3. Campo Elétrico

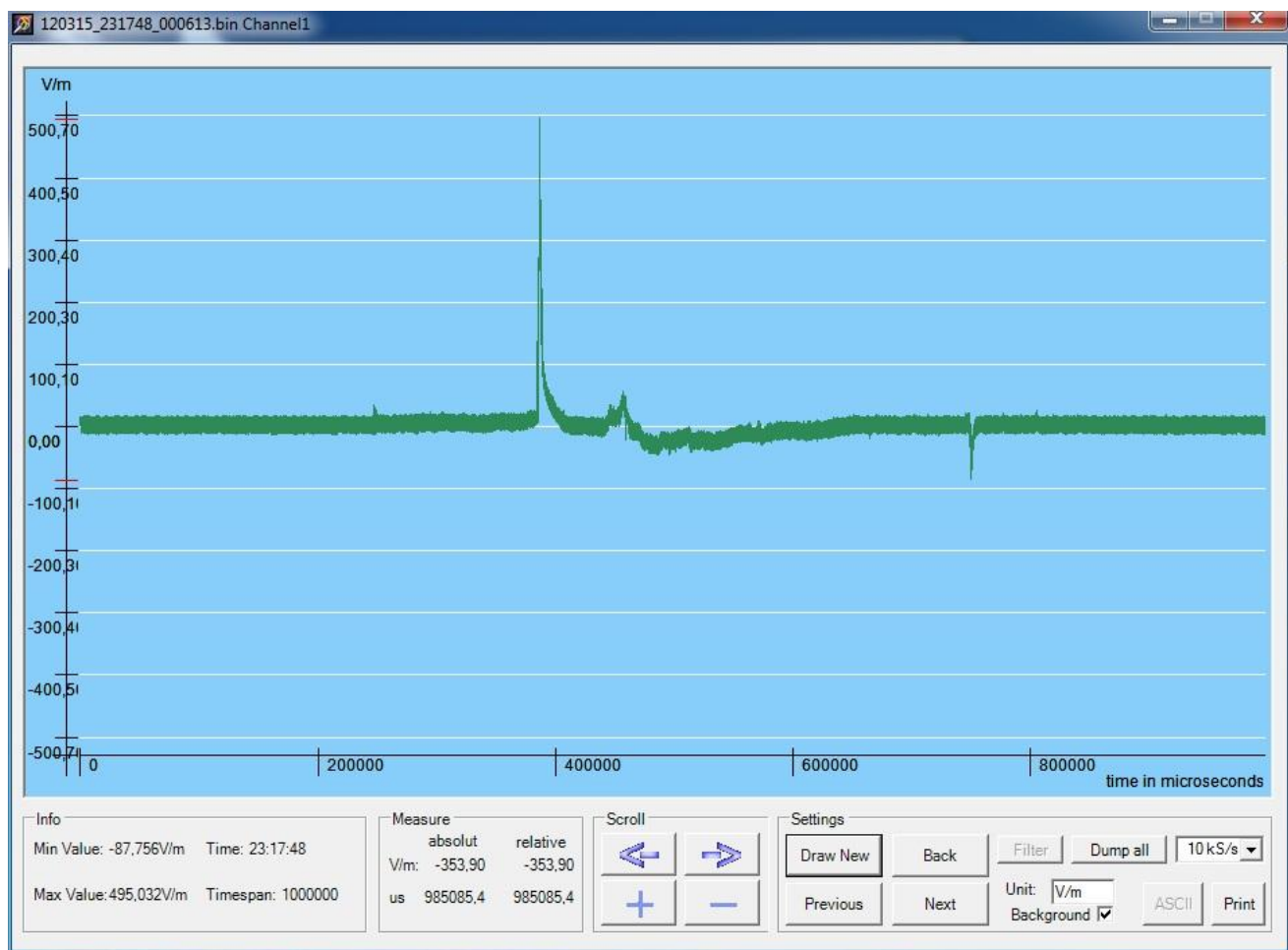


Figura 3.3 Imagem do campo elétrico do ascendente 7.

### 4. Descrição da Carta Sinótica

“ (..) verifica-se a presença de uma frente fria sobre o Oceano que se acopla até o ciclone cujo núcleo tem valor de 1001 hPa e se posiciona por volta de 44S/38W. Na retaguarda deste sistema frontal, percebe-se uma área de pulsos anticlônicos de 1020 hPa (..)” (colocar o mapa sinótico a que se refere)

## 5. Field Mill

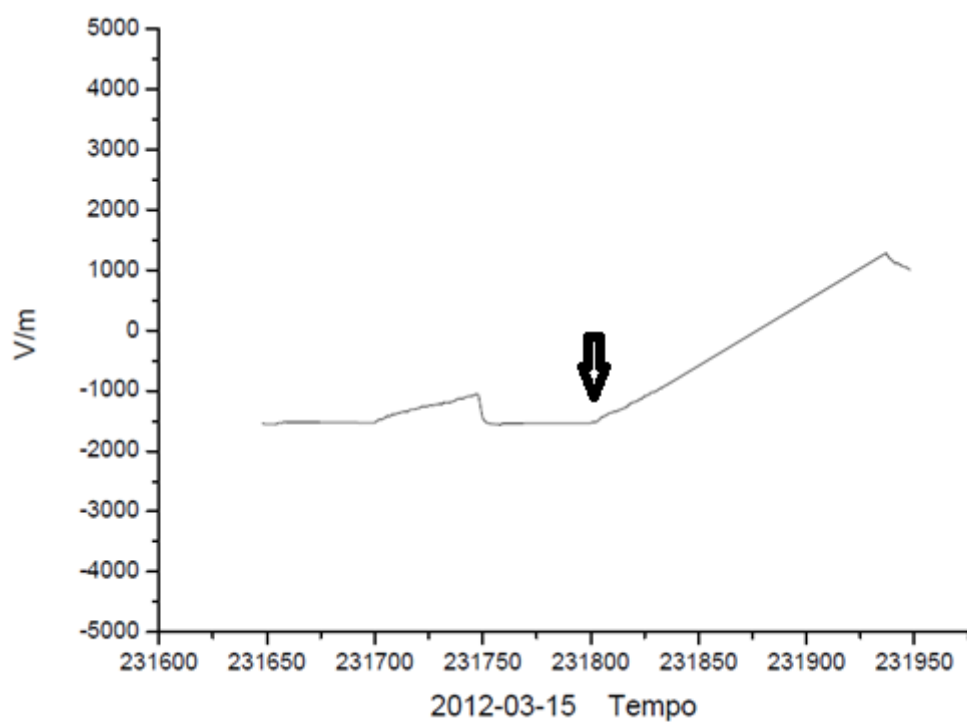


Figura 3.4 Representação gráfico do Field Mill do raio.

## 6. Imagem do ascendente



Figura 3.5 Imagem do raio ascendente no Pico do Jaraguá, dia 15/03/2012.

O RA 7 foi usado como exemplo pra fazer a descrição completa de todo o processo de análise dos dados de uma descarga atmosférica. A seguir, será mostrado uma tabela (FIGURA 3.6) com a descrição de data e horário de todos os raios ascendentes e no âmbito das nuvens, a imagem de radar meteorológico e de satélite da tempestade em seu respectivo dia. Acrescentamos também para cada dia um trecho da análise sinótica feita pelo CPTEC/INPE.

Date	Flash	Upward leader initiation time (UT)
15 January 2012	1	21:34:46.5292
15 January 2012	2	21:38:29
15 January 2012	3	21:40:49.7855
15 January 2012	4	22:58:56.6645
10 March 2012	5	19:58:01.2900
10 March 2012	6	20:17:24.6987
15 March 2012	7	23:17:48.3890
15 March 2012	8	23:21:44.8465
15 March 2012	9	23:24:40.4980
23 March 2012	10	02:34:49
27 March 2012	11	19:28:55.7510
27 March 2012	12	19:38:53.4055
27 March 2012	13	19:42:41.8765
27 March 2012	14	19:49:02.8970
12 April 2012	15	20:39:34.0220

Figura 3.6 Tabela de descrição dos raios ascendentes.

- **15/01/2012**

"...observa-se a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) desde o sudeste do AM, MT, sul de GO, Triângulo Mineiro, norte e leste de SP e Atlântico a sotavento de um ciclone com pressão de 1001 hPa em torno de 34S/43W."

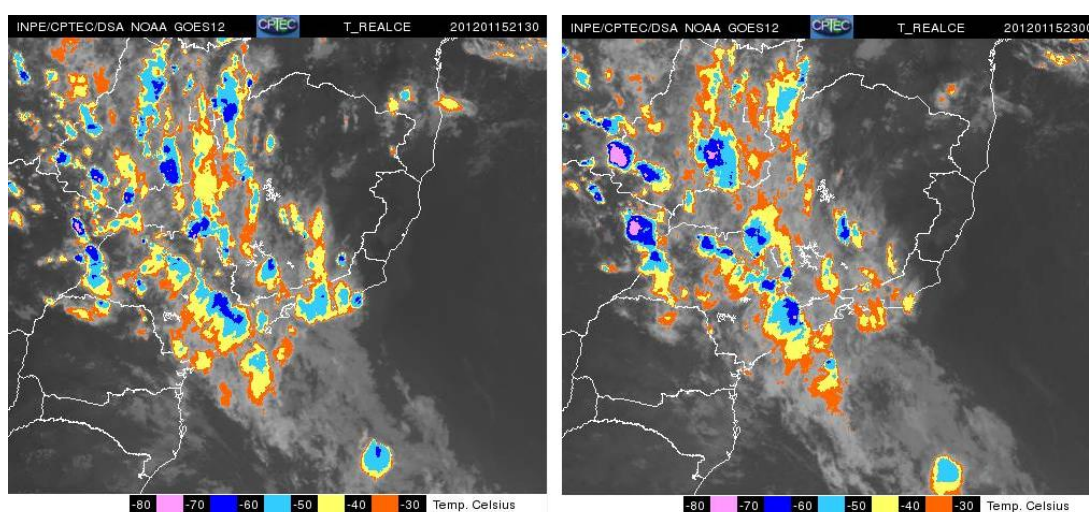


Figura 3.7 Imagem de satélite da tempestade - 15/01/2012

- **10/03/2012**

“Já a partir de hoje (10/03) o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre o interior do Brasil perderá força, mas ainda atuará em forma de cavado no sul da Região Centro-Oeste. Este sistema se acoplará com o cavado sobre a Região Sul do Brasil. Desta forma, a instabilidade persistirá entre o norte do PR, Centro-Oeste, SP e oeste de MG. Este cavado terá lento deslocamento para leste, com reflexo em nível médio da atmosfera, inclusive neste nível a circulação fechará um VC. Assim, a instabilidade persistirá de forma significativa entre o sul e leste da Região Centro-Oeste e sul da Região Sudeste.”

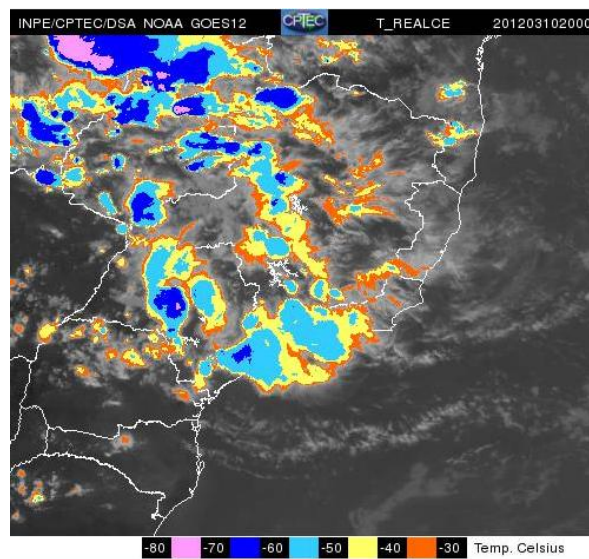


Figura 3.8 Imagem de satélite da tempestade - 10/03/2012

- **15/03/2012**

"verifica-se a presença de uma frente fria sobre o Oceano que se acopla até o ciclone cujo núcleo tem valor de 1001 hPa e se posiciona por volta de 44S/38W."

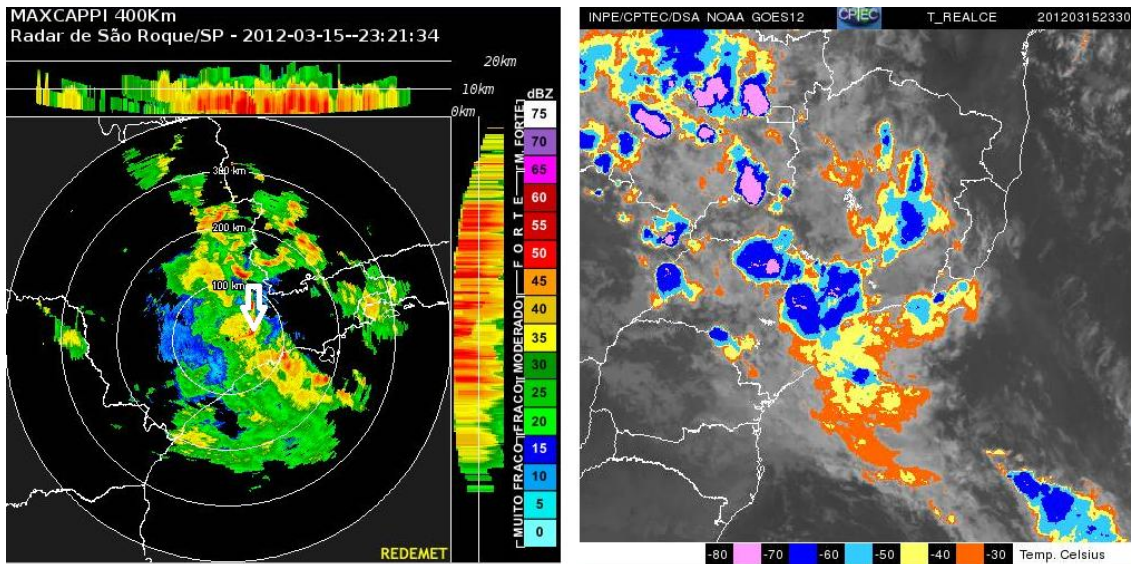


Figura 3.9 Imagem de satélite e de radar da tempestade - 15/03/2012

- **23/03/2012**

"pode se observar um sistema frontal com seu ramo frio se estendendo a leste do RS na direção sudeste sobre o oceano Atlântico."

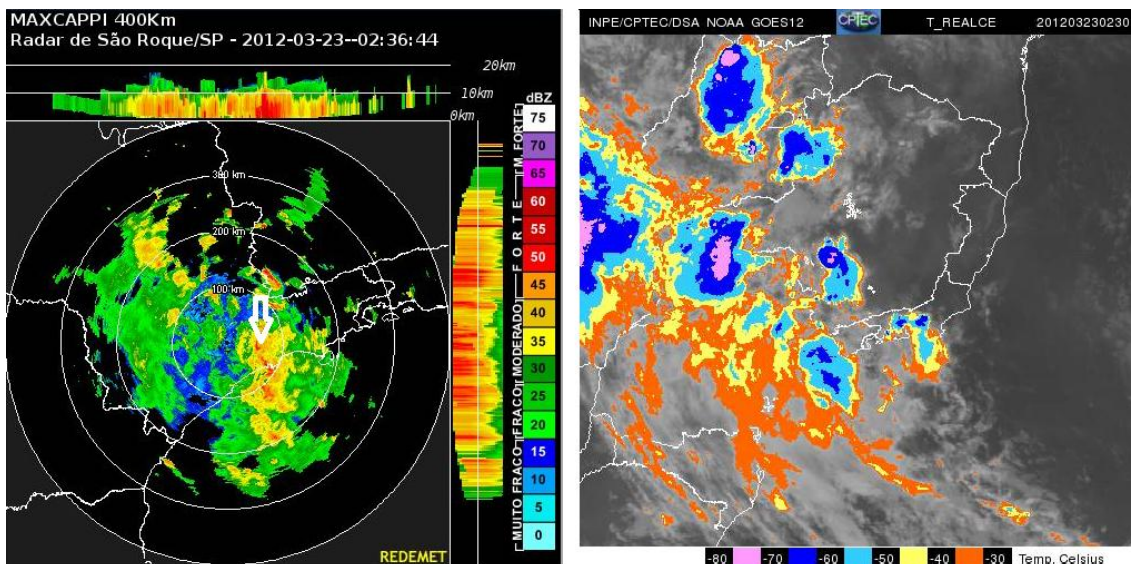


Figura 3.10 Imagem de satélite e de radar da tempestade - 23/03/2012

- **27/03/2012**

"Na análise da carta sinótica de superfície das 18Z desta terça-feira (27/03), verifica-se a presença de uma frente fria que se estende desde a divisa do Paraguai/MS, leste do PR, prolongando-se pelo Atlântico até uma baixa pressão por volta de 39S/42W."

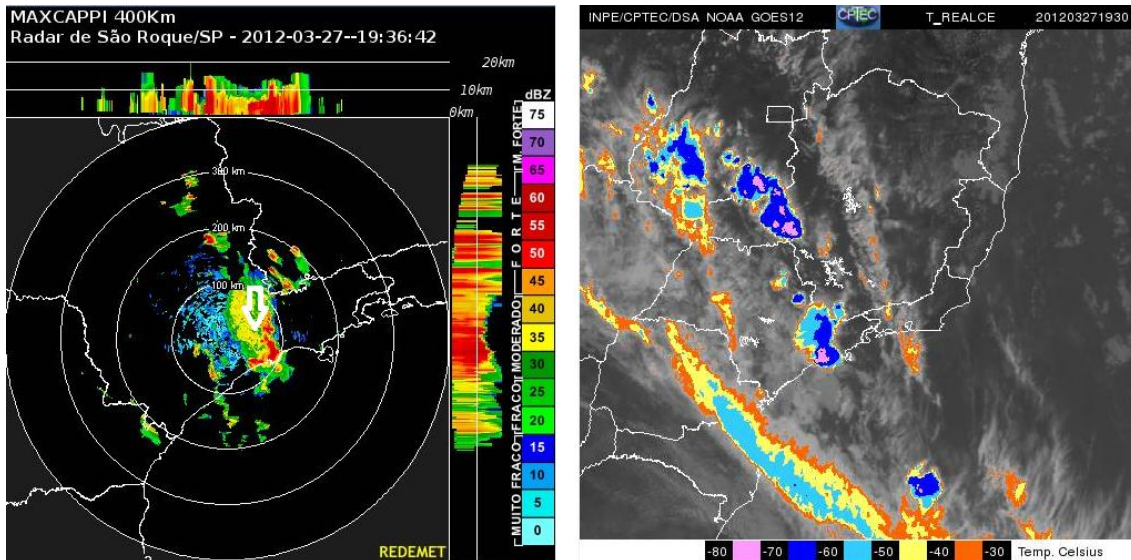


Figura 3.11 Imagem de satélite e de radar da tempestade - 27/03/2012

- **12/04/2012**

"...Nuvem de tempestade local convectiva."

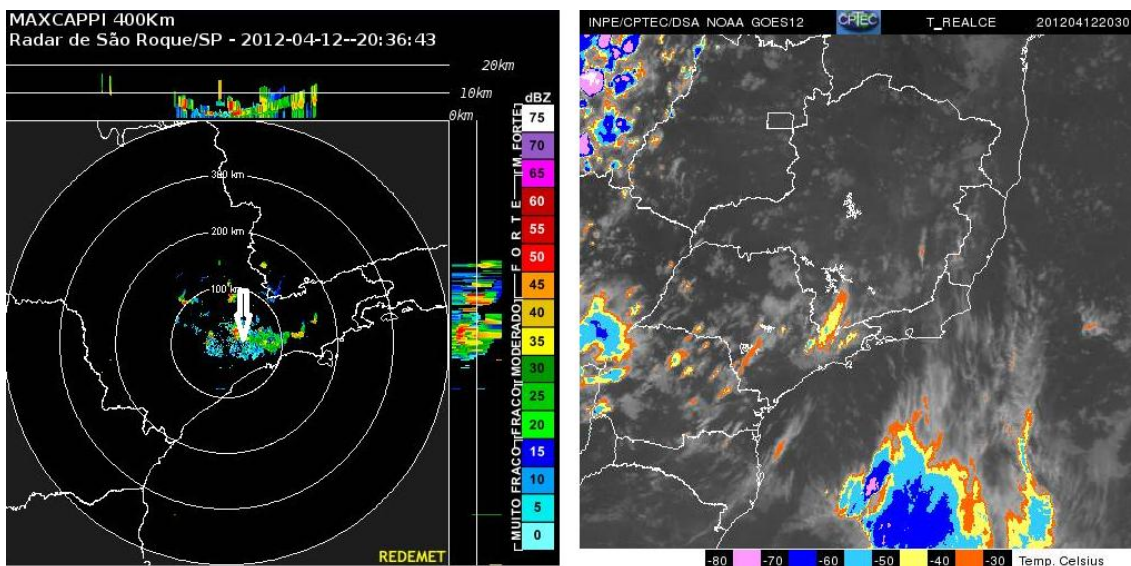


Figura 3.12 Imagem de satélite e de radar da tempestade - 12/04/2012

## **4. Conclusão**

Durante todo o projeto foi feito a coleta do vídeo do raio durante a tempestade. Com esse vídeo em mãos, era feito a análise descritiva desta descarga e esta era composta pelos elementos citados no capítulo anterior. A partir das ferramentas, obteve-se as imagens de radares meteorológicos e de satélites podendo assim descrever o comportamento das nuvens e também todos os componentes que compõem a caracterização de um raio.

Assim, através das imagens mostradas acima, apresentando todos os dias de tempestades que ocorreram raios ascendentes e também raios positivos, verifica-se que com a exceção de um dia (12/04/2012) todos os raios ascendentes e raios positivos associados tiveram sua origem a partir de sistemas convectivos de larga escala. Neste dia (12/04/2012) o raio ascendente observado foi precedido apenas por uma descarga intra-nuvem que se originou em uma nuvem de tempestade convectiva local com pequena extensão vertical.

Este é o primeiro estudo de tipo de nuvens de tempestades que geraram raios ascendentes no Brasil.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ballarotti, M. G. **Estudo de relâmpagos nuvem-solo através de câmera rápida**. 2005-02-21. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Ballarotti, M. G.; Saba, M. M. F.; Pinto Jr, O. **High-speed camera observations of negative ground flashes on a millisecond-scale**. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L23802, doi:10.1029/2005GL023889, 2005.

Pinto Jr., O.; Pinto, I. R. C. A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

Pinto Jr., O. The Brazilian lightning detection network: a historical background and future perspectives. In: VII SIPDA, 2003, Curitiba. Proceedings, 2003.

Rakov, V. A.; Uman, M. A. **Lightning: Physics and Effects**. Cambridge University Press. United Kingdom: Cambridge, 2003.

Saba, M. M. F. **Estudo de condutividade, campo elétrico e relâmpagos associados a nuvens de tempestade**. junho, 1997. 180 p. (INPE-6675-TDI/625). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

Saba, M. M. F.; Pinto Jr., O.; Solórzano, N. N.; Eybert-Berard, A. **Lightning current observation of an altitude-triggered flash**. *Atmospheric Research*, v. 76, n. 1-4, p. 402-411, 2005.

Saba, M. M. F.; Ballarotti, M. G.; Pinto Jr, O. **Cloud-to-ground lightning properties in Brazil from high-speed video observations**. Journal of Geophysical Research, Vol. 111, D03101, doi:10.1029/2005JD006415, 2006.

Uman, M. A. **The lightning discharge**. Academic Press, 1987.

Uman, M. A.; Krider, E. P. **Natural and artificially initiated lightning**. Science: p.457-464, Vol. 246, Oct 1989.

Wood, R. A. **When lightning strikes!** Weatherwise, Vol. 41, n. 4, p. 206-210, 1988.