



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DOS RAIOS ATRAVÉS DE CÂMERAS DE VÍDEO E SENSORES DE CAMPO ELÉTRICO

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

Felipe de Lima Mantovani (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bolsista
PIBIC/CNPq)

E-mail: felipe.mantovani@unesp.br

Marcelo Magalhães Fares Saba (INPE/DISSM, Orientador)

E-mail: marcelo.saba@inpe.br

Tagianne Patrícia da Silva (INPE/DISSM, Coorientadora)

E-mail: tagianne.silva@inpe.br

INPE
São José dos Campos
2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DOS RAIOS ATRAVÉS DE CÂMERAS DE VÍDEO E SENSORES DE CAMPO ELÉTRICO

Felipe de Lima Mantovani

Relatório Final de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr. Marcelo
Magalhães Fares Saba e Coorientado pela
Doutoranda Tagianne Patrícia da Silva.

INPE
São José dos Campos
2022

RESUMO

Os raios são fenômenos atmosféricos muito recorrentes em baixas latitudes, entre os trópicos, locais mais quentes e úmidos. Os primeiros estudos relacionados a este tipo de fenômeno baseavam-se na estimativa de sua ocorrência. Com o avanço da tecnologia, foi possível adquirir imagens, por intermédio de câmeras de alta velocidade, da propagação dessas descargas, além de dados físicos como sinal de campo elétrico, corrente elétrica e raios-x produzidos pelo canal do raio. Os raios podem ser classificados de duas maneiras: os que não tocam o solo (intranuvem); e os que mantêm contato com o solo (descendente e ascendente), podendo ainda ser de polaridade positiva ou negativa; a depender da polaridade da carga que está sendo transferida para o solo. Os raios analisados neste trabalho foram descendentes positivos. Esse tipo de descarga ocorre tipicamente no final de tempestades, e com menor frequência devido a distribuição de cargas no interior da nuvem. Este trabalho apresenta a classificação dos raios registrados durante os verões de 2003 a 2022 nas cidades de São Paulo, São José dos Campos (Brasil) e Utah (Estados Unidos) onde foram instaladas câmeras de alta velocidade e sensores de campo elétrico próximos ao local do evento. Primeiramente foi desenvolvida uma tabela contendo o tipo de raio (intranuvem, descendente ou ascendente), a polaridade (negativa ou positiva) e o tempo de sua ocorrência (adquirido por meio de antena de GPS). Esses dados foram associados ao perfil de campo elétrico, para que a polaridade da descarga elétrica fosse confirmada. Em seguida, com a utilização das informações da tabela e imagens da câmera rápida, foram feitas análises preliminares do comportamento das descargas de retorno subsequentes dos raios identificados como positivos. Essas análises auxiliam no desenvolvimento da pesquisa referente a raios feita no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Palavras-chave: Raio Descendente Positivo. Câmera de alta velocidade. Campo elétrico. Positive Lightning. High-speed camera. Electric field.

STUDY OF LIGHTNING THROUGH VIDEO CAMERAS AND ELECTRIC FIELD SENSORS

ABSTRACT

Lightning is a very recurrent atmospheric phenomenon at low latitudes, between the tropics, warmer and wetter places. The first studies related to this type of phenomenon were based on the estimation of its occurrence. With the advancement of technology, it was possible to acquire images, through high-speed cameras, of the propagation of these discharges, in addition to physical data such as electric field signal, electric current and x-rays produced by the ray channel. Rays can be classified in two ways: those that do not touch the ground (intracloud); and those that maintain contact with the ground (descending and ascending), and can still be of positive or negative polarity; depending on the polarity of the charge being transferred to the ground. The rays analyzed in this work were positive descendants. This type of discharge typically occurs at the end of storms, and less frequently due to the distribution of charges within the cloud. This work presents the classification of lightning recorded during the summers from 2003 to 2022 in the cities of São Paulo, São José dos Campos (Brazil) and Utah (United States) where high-speed cameras and electric field sensors were installed near the site of the event. First, a table was developed containing the type of ray (intracloud, descending or ascending), the polarity (negative or positive) and the time of its occurrence (acquired through a GPS antenna). These data were associated with the ambient electric field, so that the polarity of the electric discharge was confirmed. Then, using the information from the table and images from the fast camera, preliminary analysis of the behavior of the subsequent return discharges of the rays identified as positive were performed. These analyzes help in the development of research on lightning carried out at the National Institute for Space Research (INPE).

Keywords: Upward Lightning. Fast camera. Electric field.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1: Cumulonimbus - Nuvem de Tempestade
- Figura 2.2: Distribuição das cargas elétricas dentro de uma nuvem de tempestade segundo as medições de Simpson e Scrase 1937, Simpson e Robinson 1941 e Williams 1989.
- Figura 2.3: Porcentagem de ocorrência conforme tipo de raios.
- Figura 2.4: Tipos de Descargas Atmosféricas
- Figura 2.5: Raio Intranuvem
- Figura 2.6: Raio Descendente Negativo
- Figura 2.7: Raio Descendente Positivo
- Figura 2.8: Raio Ascendente
- Figura 2.9: Gráfico apresentado em resposta à uma descarga elétrica pelo sensor de campo elétrico
- Figura 3.1: Locais de posicionamento dos equipamentos no Pico do Jaraguá
- Figura 3.2: Locais de posicionamento dos equipamentos no Banhado (SJC)
- Figura 3.3: Locais de posicionamento dos equipamentos no Deserto de Utah (EUA)
- Figura 3.4: Câmeras de alta velocidade *Phantom*.
- Figura 3.5: Câmeras fotográficas Nikon.
- Figura 3.6: Baterias organizadas em uma caixa de proteção
- Figura 3.7: Antena de campo elétrico utilizada e painel solar.
- Figura 3.8: Teste de Fibra Óptica com gerador de função e osciloscópio.
- Figura 4.1: Fragmentos da Tabela dos raios analisados.
- Figura 4.2: Fotografia do Ascendente e Montagem através dos vídeos da *Phantom*
- Figura 4.3: Gráfico em resposta do Campo Elétrico de uma DRS do raio negativo e outro positivo, respectivamente.
- Figura 4.4: Diferentes raios encontrados nos vídeos.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
Nuvens de Tempestade	9
Descargas Elétricas Atmosféricas	11
Raios Intranuvem	12
Raios Descendentes	13
Raios Descendentes Negativos	13
Raios Descendentes Positivos	14
Raios ascendentes	15
Campo Elétrico	16
MATERIAIS E MÉTODOS	17
RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

Os raios são fenômenos já observados desde eras antigas, onde os povos do norte acreditavam serem sinais de deuses e tribos no continente africano a orixá Iansã (SANTOS, 2019; MATHIAS, 2020). Ambos os conceitos estão associados à uma força inconstante e grandiosa que se espalha nos ares podendo chegar até mesmo ao solo, causando grandes danos. Acompanhado dessa força luminosa que rasga os céus, conhecida hoje como raio, vinham as grandes nuvens de tempestade trazendo chuvas torrenciais e enchentes, granizo, ventos intensos e eventualmente os temíveis tornados.

Os primeiros estudos relacionados a este tipo de fenômeno baseavam-se na estimativa de sua ocorrência. Com o avanço da tecnologia e por intermédio de câmeras de alta velocidade foi possível adquirir imagens da propagação dessas descargas, além de dados físicos como variação de campo elétrico, corrente elétrica e raios-x. Utilizando-se dessas novas tecnologias e teorias, foi possível classificar os raios em dois grandes grupos: os que tocam o solo, descendente e ascendente, e os que não o tocam, intranuvem; e ainda podem ser de polaridade positiva ou negativa. Através dessa classificação mais estudos foram desenvolvidos e aprimorados para identificação de mais dados.

O Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui uma série de dados armazenados para análise de diversos pesquisadores. O grupo conta com equipamentos sofisticados para o registro dos raios, como câmeras de alta velocidade e sensores de campo e corrente elétrica, com a finalidade de registrar os processos físicos da propagação de raios ascendentes, descendentes e intranuvem.

Este trabalho apresenta informações de diversos vídeos analisados por diferentes câmeras de alta velocidade associadas a dados de campo elétrico, dando enfoque a classificação de raios do tipo descendente positivo, e a importância de organizar tais dados para prospecção de outras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Nuvens de Tempestade

As nuvens são formadas através dos efeitos do calor irradiado pelo Sol que atinge a superfície da Terra. Este calor evapora a água e, por ser menos denso que o ar ao nível do mar, esse vapor d'água sobe e encontrando regiões mais frias da atmosfera acaba se condensando formando pequenas partículas de água que compõem as nuvens. Porém, as nuvens de tempestade distinguem-se em seus aspectos. O nome técnico dado a essas nuvens é cumulonimbus (Figura 2.1), e têm sua formação a partir das cumulus; nuvens baixas que

iniciam seu desenvolvimento em aproximadamente 1.000 m de altura (WALLACE; HOBBS, 2006).

Figura 2.1: Cumulonimbus - Nuvem de Tempestade



Fonte: Cumulonimbus, também conhecida como Nuvem de Tempestade no céu. Cedida por Lauria (2015).

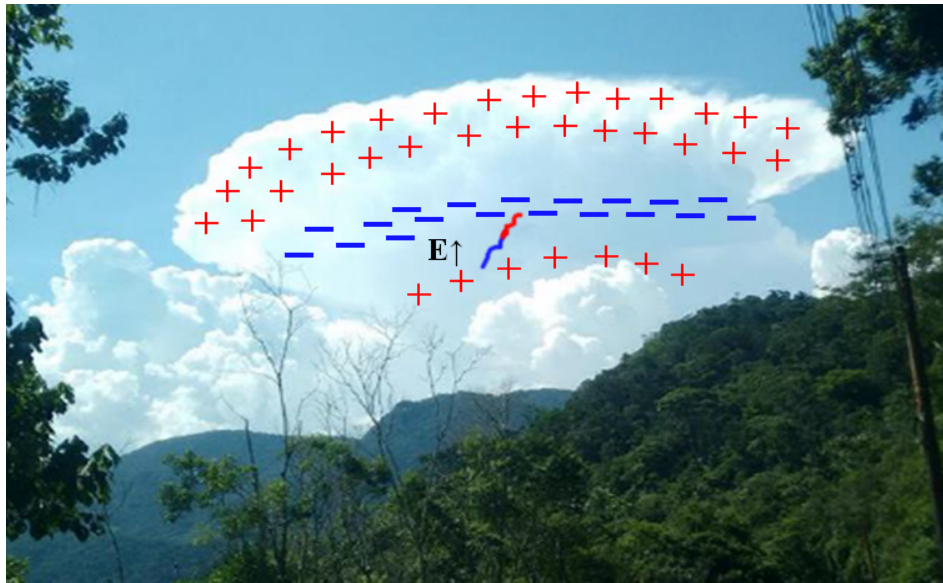
Somente as nuvens de tempestades possuem as condições para gerar eletrização dentro das nuvens e assim gerar descargas elétricas (raios). Essas nuvens são chamadas de cumulonimbus (ou nuvens de tempestade). As nuvens de tempestades possuem as condições adequadas para gerar raios dentro delas (FERNANDES, 2006; FERRO, 2020).

Previamente acreditava-se que nuvens de tempestades típicas eram compostas por duas regiões horizontais carregadas eletricamente e dispostas uma sobre a outra (dipolo). Contendo uma concentração de cargas negativamente na área inferior e outra positivamente na superior e as intensidades da carga total em ambas regiões seriam aproximadamente iguais. Estudos feitos posteriormente através das medições do campo elétrico em função da altura dentro de uma nuvem de tempestade verificaram que devido ao perfil do campo elétrico deveria existir uma terceira região de polaridade positiva, de menor carga, abaixo da região negativa. (Figura 2.2). Esta disposição de três regiões é denominada de tripolar. (SIMPSON; SCRASE, 1937; SIMPSON; ROBINSON, 1941; WILLIAMS, 1989).

Assim, as cumulonimbus possuem grandes quantidades de cargas separadas em três centros, um grande centro positivo próximo ao topo da nuvem, um grande centro negativo na região central da nuvem e um centro menor positivo próximo a base; como pode ser

observado na Figura 2.2. Havendo uma intensificação no campo elétrico os raios surgem e se desenvolvem podendo sair da nuvem e atingir o solo.

Figura 2.2: Distribuição das cargas elétricas dentro de uma nuvem de tempestade segundo as medições de Simpson e Scrase 1937, Simpson e Robinson 1941 e Williams 1989.

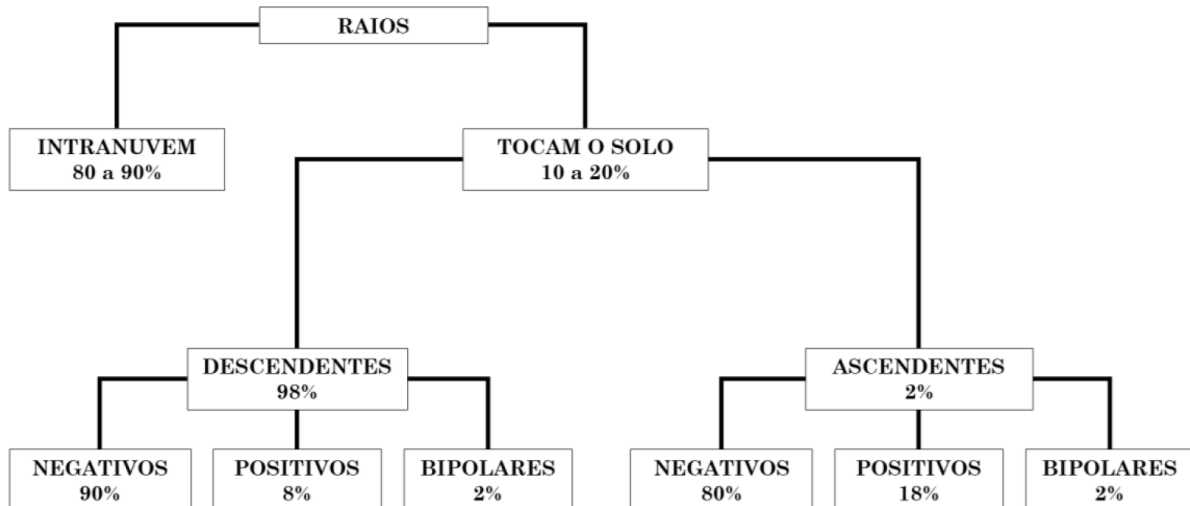


Distribuição de cargas dentro de uma *Cumulonimbus*, concentrando cargas positivas na região superior e inferior da nuvem, e negativas em seu centro; e o campo elétrico (E) devido às cargas negativas e as positivas. Fonte: Cedida por Lauria (2015), adaptado do Autor (2022).

2.2 Descargas Eléctricas Atmosféricas

O raio é uma descarga elétrica atmosférica autopropagante muito intensa. Elas podem ocorrer de várias formas e são classificadas de acordo com o local onde se originam e terminam; podendo ser intranuvem, descendentes (nuvem-solo) ou ascendentes (solo-nuvem). Os raios possuem polaridades positiva ou negativa, a depender da carga que é transferida para o solo (UMAN, 2012; AKINYEMI et al., 2014; ROMERO; PIANTINI, 2015). A Figura 2.3 esquematiza os tipos de raios, suas polaridades e frequência de ocorrência (RAKOV; UMAN, 2003).

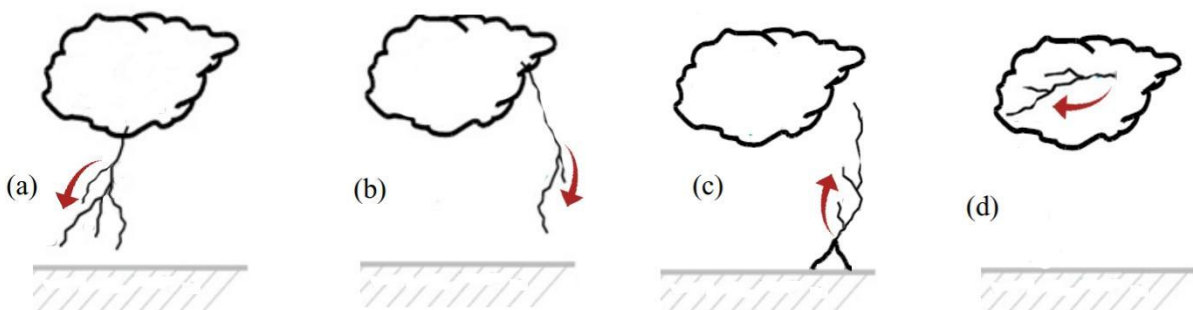
Figura 2.3: Porcentagem de ocorrência conforme tipo de raios.



Fonte: Lauria (2022)

Na Figura 2.4 abaixo vemos uma melhor ilustração do sentido das descargas elétricas sendo a, b e c, raios que tocam o solo, classificam respectivamente como: raio descendente negativo, raio descendente positivo e raio ascendente (positivo ou negativo), e em c vemos um raio intranuvem.

Figura 2.4: Tipos de Descargas Atmosféricas



Fonte: Rachidi and Rubinstein (2009), adaptado do Autor (2022).

2.2.1 Raios Intranuvem

Descargas elétricas que ocorrem dentro da nuvem (intranuvem) são as quais não chegam a tocar o solo, sendo que cerca de 80 a 90% dos raios são intranuvem e os 10% a 20% restantes atingem o solo (RAKOV; UMAN, 2003). A Figura 2.5, demonstrada abaixo, apresenta uma imagem de raio intranuvem.

Figura 2.5: Raio Intranuvem



Fonte: INPE (2022).

2.2.2 Raios Descendentes

Os raios descendentes são considerados as descargas elétricas que se iniciam na nuvem de tempestade e propagam em direção ao solo, também chamados de nuvem-solo (ou do inglês *Cloud Ground*). Os raios nuvem solo constituem 99% do total de raios que envolvem o solo. Dentre essa porcentagem 90% correspondem a raios descendentes negativos (transferem cargas negativas para o solo) os demais 10% correspondem aos raios descendentes positivos (transferem cargas positivas para o solo). (FERRO, 2020)

2.2.2.1 Raios Descendentes Negativos

Toda vez que o raio toca o solo há uma descarga de retorno, a quantidade de descargas de retorno é uma característica conhecida como multiplicidade (NAG et al., 2009). Os raios descendentes negativos geralmente possuem multiplicidade de aproximadamente 3,8, com média de 1,7 pontos de contato com o solo (SARAIVA et al., 2010). Em geral, esses raios são mais ramificados e ocorrem geralmente no início da tempestade (RAKOV; UMAN, 2003). Além disso, os raios negativos também possuem corrente contínua, sendo a corrente que flui pelo canal do raio, mantendo-o ativo por um intervalo de tempo superior a 3 milissegundos (ms) (BALLAROTTI; SABA; PINTO, 2005); porém não tanto longas e aparentes quanto nos raios descendentes positivos.

Na Figura 2.6 apresenta um raio negativo e suas ramificações. Ou seja, em uma fração de tempo bem baixa o raio tocou duas vezes o ponto no solo, imperceptível a olho nu.

Figura 2.6: Raio Descendente Negativo



Fonte: INPE (2022).

2.2.2.2 Raios Descendentes Positivos

Os raios descendentes positivos possuem uma multiplicidade considerada pequena de 1,2. Oposto aos raios descendentes negativos, os positivos ocorrem no final das tempestades, constituindo a minoria dos raios descendentes, correspondendo de 8% a 10% do total (UMAN, 1987; RAKOV; UMAN, 2003; RAKOV, 2007; SABA et al., 2010). Em geral, esses raios não são muito ramificados e possuem uma duração de corrente contínua maior em comparação aos raios descendentes negativos (SABA et al., 2010). Na Figura 2.7 pode-se ver um raio descendente positivo.

Figura 2.7: Raio Descendente Positivo



Fonte: INPE (2022).

2.2.3 Raios ascendentes

As descargas elétricas atmosféricas do tipo ascendente ocorrem a partir de estruturas altas (ANDERSON e ERIKSSON, 1980; UMAN, 1987; RAKOV, 2007). Surgem, em sua maioria, no final da tempestade em resposta à perturbação na nuvem causada geralmente por líderes negativos associados a raios intranuvem ou a raios descendentes positivos (SABA et al., 2016; SCHUMANN et al., 2019). Os raios ascendentes são os que possuem menor incidência nas tempestades; abrangendo apenas 1% de ocorrência em comparação com o intranuvem e descendentes (SABA et al., 2016) (Figura 2.8).

Figura 2.8: Raio Ascendente



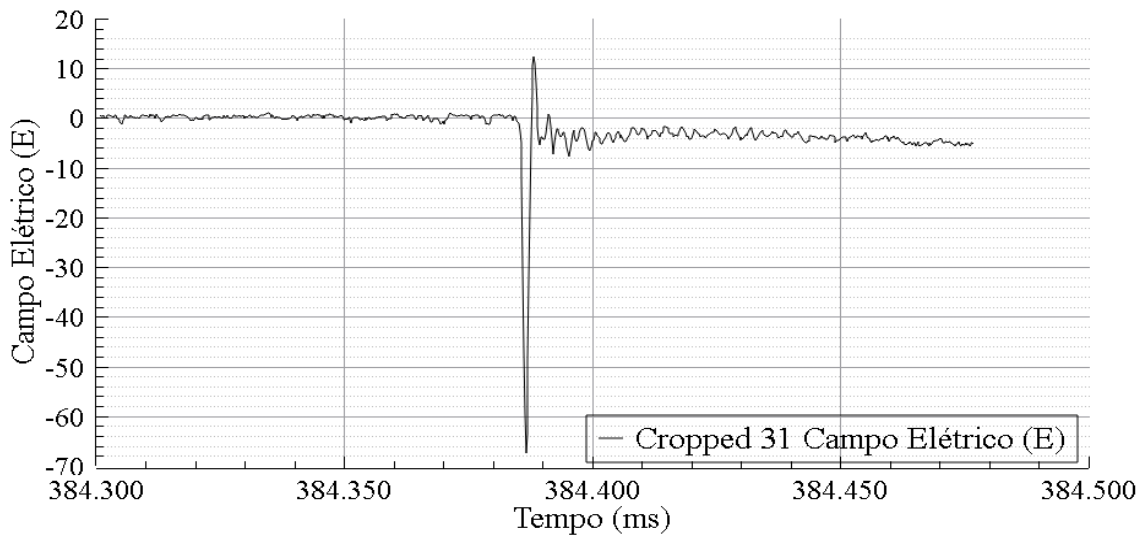
Fonte: INPE (2022).

2.3 Campo Elétrico

Todas as descargas elétricas atmosféricas estão diretamente associadas ao rápido movimento de cargas elétricas. O estudo da medida da variação do campo elétrico, associada a esse movimento de cargas, auxilia no entendimento dos principais processos físicos do raio. Uma antena rápida tipo prato (*“fast flat antenna”*) é usada para registrar as variações do campo elétrico causadas pela descarga elétrica atmosférica. Apresentando tempo de decaimento de 0,5 milissegundos (ms) e taxa de aquisição de 5.000.000 amostras por segundo, resultando em um intervalo entre amostragens de 200 nanossegundos.

Devido a essas características técnicas, a antena apresenta uma excelente resolução temporal, permitindo a reprodução da forma de onda do campo elétrico e visualizando a “assinatura” do campo elétrico característica de cada um dos processos que compõem as descargas elétricas. Permite, também, medidas mais confiáveis da variação na amplitude do campo elétrico durante a ocorrência desses processos (FERRO, 2008). A Figura 2.9 apresenta a variação do campo elétrico produzido por um raio negativo, obtido através de uma antena de modelo tipo prato.

Figura 2.9: Gráfico apresentado em resposta a uma descarga elétrica pelo sensor de campo elétrico de um raio negativo.

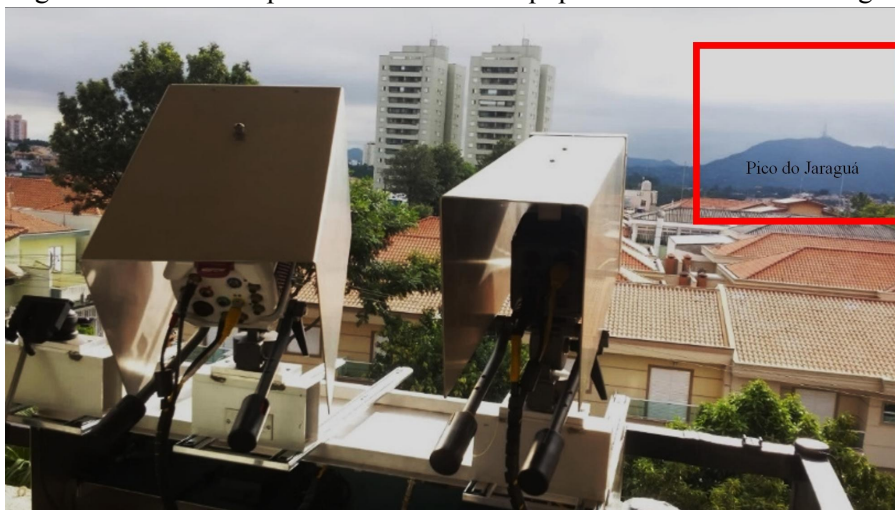


Fonte: Produção do Autor (2022)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

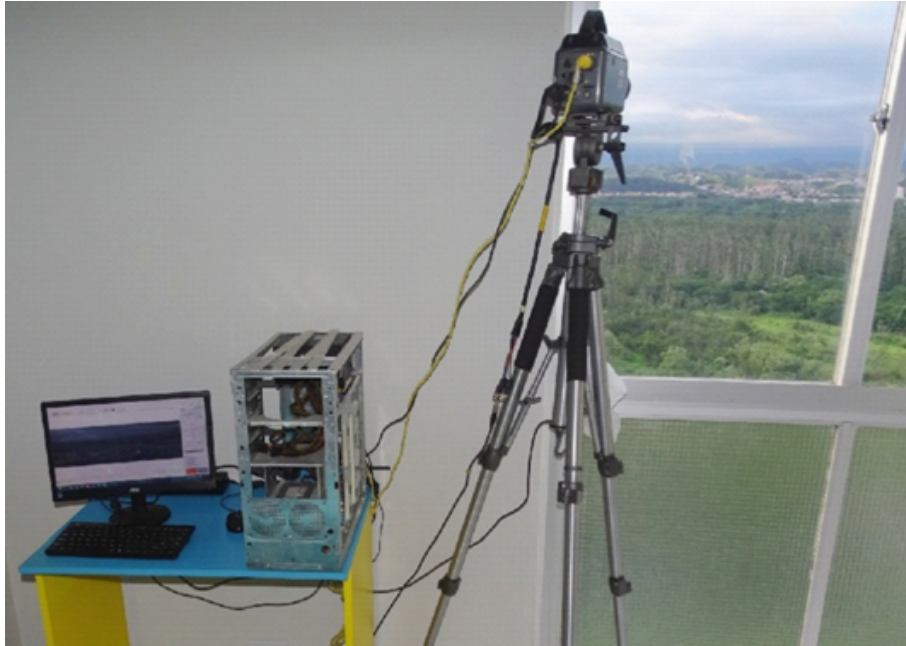
A coleta dos dados do presente trabalho abrange os anos de 2003 a 2022, ocorrida na cidade de São Paulo (localizada no estado de São Paulo, Brasil), em São José dos Campos (localizada no estado de São Paulo, Brasil) e em Utah (Estados Unidos). Os equipamentos estavam localizados próximos ao Pico do Jaraguá - Cidade de São Paulo, no Banhado - Cidade de São José dos Campos (Figura 3.2) e no deserto de Utah nos Estados Unidos (Figura 3.3).

Figura 3.1: Locais de posicionamento dos equipamentos no Pico do Jaraguá



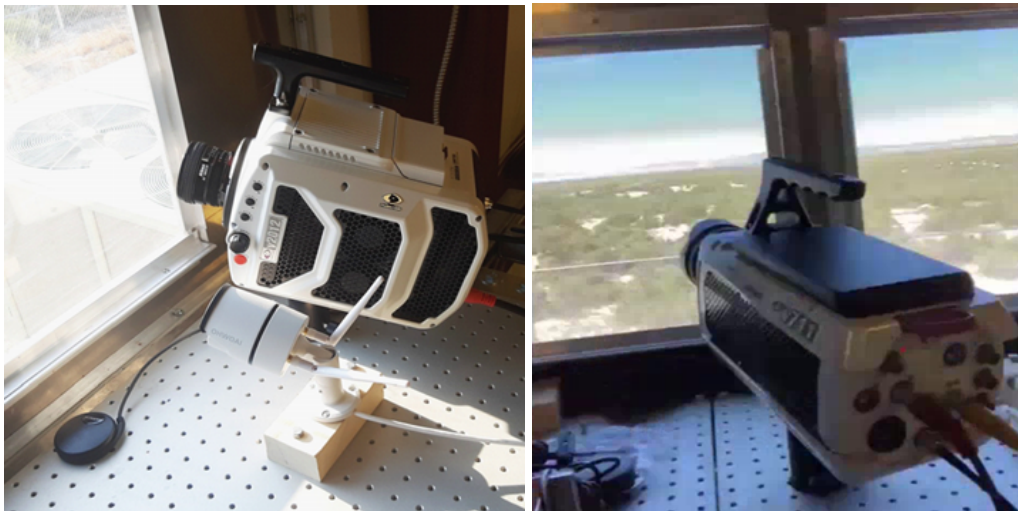
Fonte: INPE (2015).

Figura 3.2: Locais de posicionamento dos equipamentos no Banhado (SJC)



Fonte: INPE (2022).

Figura 3.3: Locais de posicionamento dos equipamentos no Deserto de Utah (EUA)



Fonte: INPE (2015).

Para o registro das descargas elétricas foram utilizados três tipos de câmeras:

- a) Câmeras de alta velocidade modelos: V711, V9, V2012;
- b) Câmeras Padrões: MV-CA013-20UM;
- c) Câmeras Fotográficas: D200, D300 e D800.

As câmeras de alta velocidade utilizadas no presente trabalho são da fabricante *Phantom Research*, Figura 3.4. Tais câmeras operam a uma taxa superior a 30.000 imagens por segundo (*frames per second – fps*). Além da mídia obtida pela gravação, também consta o

horário de ocorrência da gravação com precisão de milissegundos obtido através de uma antena GPS (*Global Positioning System*). Os vídeos registrados dos eventos atmosféricos eram analisados no programa “*Phantom Camera Control Application*” utilizado para a análise das imagens e dados de hora.

Figura 3.4: Câmeras de alta velocidade *Phantom*.



Fonte: *Phantom Ametek*.

As câmeras fotográficas utilizadas, registraram o momento das descargas, operando automaticamente sempre que havia a variação de luminosidade do ambiente. A Figura 3.5 apresenta os modelos das câmeras Nikon D300 (a) e D800 (b), utilizando uma lente de amplificação.

Figura 3.5: Câmeras fotográficas Nikon.



Fonte: Nikon.

Além das câmeras de vídeo, foram instalados sensores de campo elétrico próximo aos equipamentos, ativados por um operador no início da tempestade. As medições da variação do campo elétrico foram feitas a partir da antena do tipo prato, de dipolo simples abastecida por baterias de 12 Volts (Figura 3.6) ligadas a um painel solar (Figura 3.7) e, para leitura dos

dados de campo elétrico, utilizou o programa *SciDavis*, no qual também permite a plotagem e melhor manipulação dos dados.

Figura 3.6: Baterias organizadas em uma caixa de proteção



Fonte: Autor (2022).

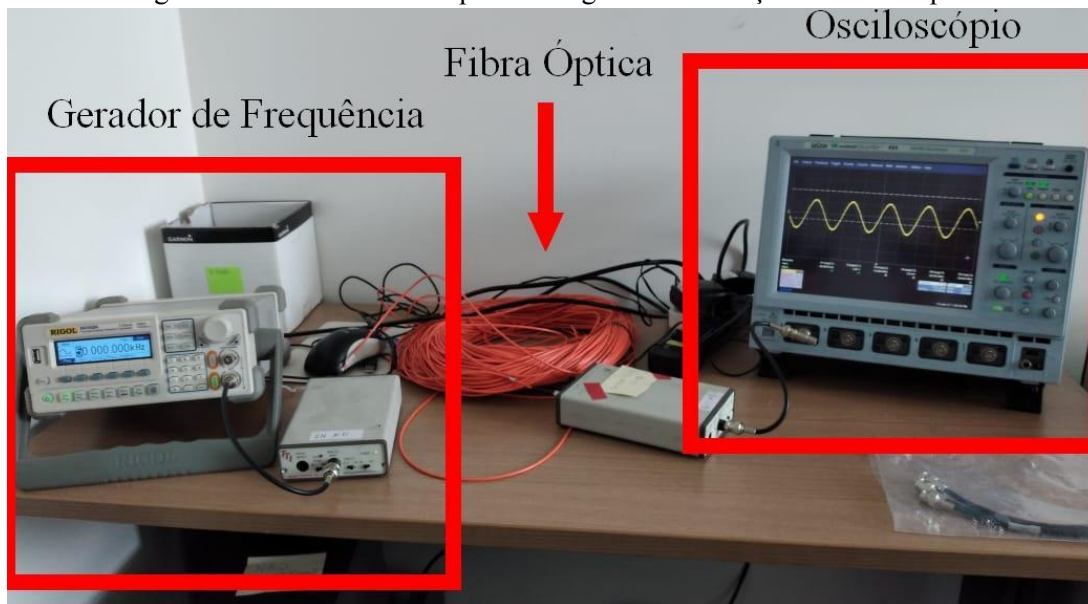
Figura 3.7: Antena de campo elétrico utilizada e painel solar.



Fonte: INPE (2016).

A antena tipo prato mede a derivada do campo elétrico no tempo. O sinal obtido passa por um integrador, que fornece o sinal de campo elétrico. A frequência de operação do integrador vai de 300 Hz a 1,5 MHz (SCHUMANN, 2016). O módulo integrador é ligado a um link de fibra óptica que transmite os dados para o módulo de aquisição do computador, a fibra era previamente testada com o uso de um osciloscópio e um gerador de frequência para melhor obtenção de dados diminuindo possíveis falhas no cabo (Figura 3.8).

Figura 3.8: Teste de Fibra Óptica com gerador de função e osciloscópio.



Fonte: Autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma análise prévia dos dados de vídeo e campo elétrico reunindo diferentes informações em uma tabela do Excel em categorias como: raio, data, hora, tipo (intranuvem, ascendente ou descendente), polaridade do raio (positivo ou negativa), quadro detectado no vídeo, dados de luminosidade e amplitude do campo elétrico. As análises foram executadas individualmente para cada vídeo e separadas na tabela por dia. Foi feita uma divisão organizada dos raios dentro de pastas e diários do plantonista, documento que reúne imagens e principais informações encontradas dos raios; como raios com maior intensidade de campo elétrico ou com muitas ramificações. Assim, padronizando e organizando todos os conteúdos de forma a facilitar a procura e qualificando os dados coletados até então.

A análise dos dados teve como enfoque a identificação dos raios positivos, marcados principalmente pela visualização dos vídeos apresentando as seguintes características raios com menos ramificações, corrente contínua (CC) mais longa identificada também através da diferença entre o segundo no qual o raio tocou o solo e posteriormente não é mais visível; e o desenvolvimento mais suave quando comparado aos raios negativos. Essas características também são visíveis após inserir os dados na tabela excel (Figura 4.1) onde torna-se mais visível a comparação entre as características dos raios e assim averiguá-las conforme propriedades mais recorrentes nos negativos ou nos positivos..

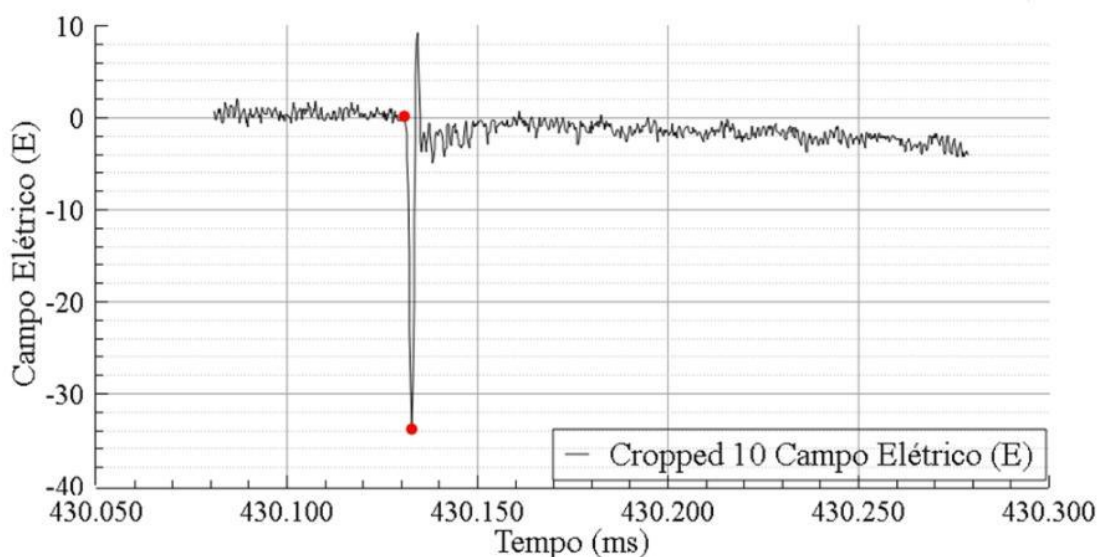
Figura 4.1: Fragmentos da Tabela dos raios analisados

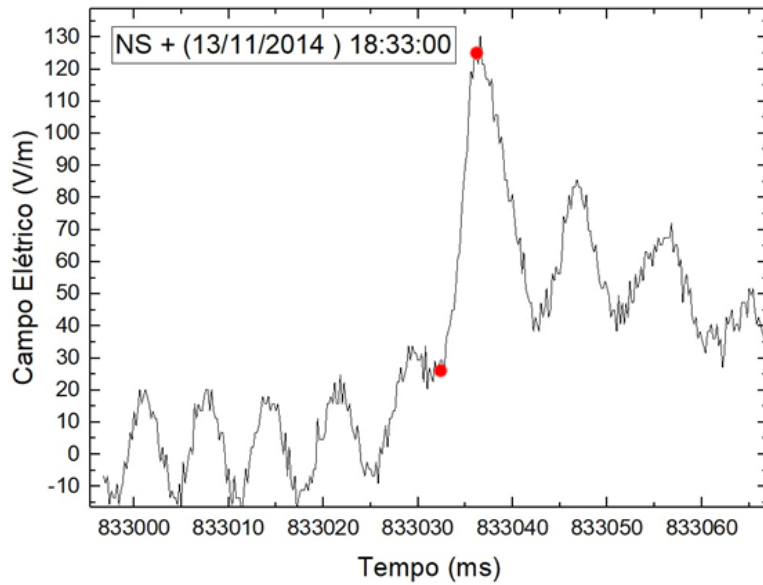
Ano	Mês	Dia	Hora	Min	Seg	ms	Frame	Tipo	Duração da CC
2012	7	8	1	58	58.00		3016.00	c.g	23.00
2012	7	8	2	29	33.00		4851.00	c.g	3.00
2012	9	21	8	17	22.00		1998.00	c.g	8.00
2012	9	21	8	23	55.00		2293.00	c.g	436.00
2012	9	21	8	24	32		2330	m	
2012	9	21	8	24	38		2336	m	
2012	9	21	8	26	11		2429	m	
2012	10	10							
2012	10	21	21	32	19	809.499	-1873	c.g	
2012	10	21	1	15	19		2472	c.g	24
2012	10	22	0	14	1	935.599	-4437	ap	
2012	10	22	0	57	43	754.399	-3950	c.g	5
2012	10	22	0	57	43	882.799	-2666	c.g	
2012	10	22	0	58	30	930.499	-4581	c.g	125
2012	10	22	1	4	31	944.199	-4125	c.g	3
2012	10	22	1	4	31	945.599	-4111	m	
2012	10	22	1	4	31	987.799	-3689	c.g	
2012	10	22	1	4	32	14.299	-3424	c.g	2
2012	10	22	1	4	32	14.999	-3417	m	
2012	10	22	1	4	32	80.099	-2766	c.g	1
2012	10	22	1	6	45	486.599	-3470	c.g	6
2012	10	22	1	6	45	487.499	-3461	m	
2012	10	23	2	17	56		1112	c.g	73
2012	10	23	2	25	51		1685	c.g	26
2012	10	23	13	39	10	259.299	-604	ic	
2012	10	23	13	31	6	326.499	-1794	ic	
2012	10	28	20	12	8	119.899	-3912	c.g	6
2012	10	28	23	17.00	43	38.70	-3203	c.g	2
2012	10	28	23	26.00	52	432.90	-2793	c.g	24
2012	10	28	23	32.00	33	214.90	-3956	c.g ou ic	
2012	10	28	23	43.00	21	464.50	-2610	c.g	197
2012	10	28	23	44.00	47	477.40	-3129	c.g	2
2012	10	28	23	46.00	0	615.70	-2301	ic	2

Fonte: Produção do Autor (2022).

A polaridade do raio também poderia ser aferida através da forma de onda do campo elétrico, sendo possível associá-lo ao vídeo e assim verificar a polaridade desse raio. Como pode ser observado nas figuras abaixo, quando há variação de campo elétrico negativo isso indica que o raio é negativo e, quando essa variação for positiva, indica um raio positivo. O intervalo dentro dos pontos vermelhos indicados nas figuras encontra-se o momento em que o raio apresenta uma grande intensidade luminosa no vídeo, que é geralmente quando ele toca o solo.

Figura 4.3: Gráfico em resposta do Campo Elétrico de um raio negativo e outro positivo, respectivamente.

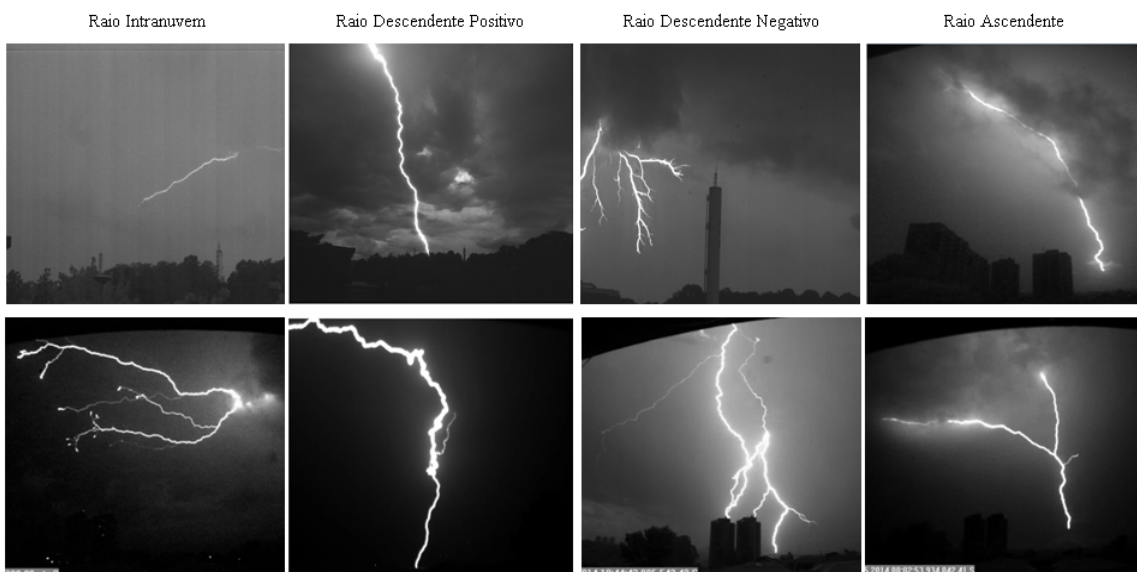




Fonte: Produção do Autor (2022).

Os mesmos procedimentos de análise do vídeo, classificação e organização dos dados identificados nas descargas atmosféricas foram efetuados para o conteúdo disponível nas para os anos de 2003 a 2022. Registrado através de imagens e da tabela do Excel todas as informações possíveis, uma série de raios diferentes em formato e propriedades foram encontrados; assim como no sensor de campo elétrico, classificados de acordo com o seu tipo (Figura 4.4): intranuvem, descendente positivo, descendente negativo e ascendente.

Figura 4.4: Diferentes raios encontrados nos vídeos.



Fonte: Produção do Autor (2022)

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram revisados vários tipos de descargas atmosféricas, que é um fenômeno importante com comportamento imprevisível. Esta iniciação científica procura contribuir para o conhecimento e esclarecimento sobre os estudos dos raios, qualificando e organizando os dados adquiridos. Atualmente, o grupo conta com uma equipe de mestrados e doutorandos que continuam a contribuir para as pesquisas sobre as descargas atmosféricas, apurando as informações das descargas capturadas através das câmeras de alta velocidade. Pesquisas estão sendo realizadas para saber mais sobre a física desse fenômeno. Tabela os dados e padronizá-los facilitará a pesquisa futuras

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINYEMI, M. L. et al. Lightning a fundamental of atmospheric electricity. **IERI Procedia**, v. 9, p. 47-52, 2014.

ANDERSON, R. B.; ERIKSSON, A. J. Lightning parameters for engineering application CIGRE **Electra** No. 69. 1980.

BALLAROTTI, M. G.; SABA, M. M. F.; PINTO, J. High-speed camera observations of negative ground flashes on a millisecond-scale. *Geophysical Research Letters*, v. 32, n. 23, p. 1–4, 2005.

FERRO, Marco Antonio da Silva. **CARACTERÍSTICAS DOS RELÂMPAGOS NUVEM-SOLO NEGATIVOS QUE APRESENTAM MÚLTIPLOS CANAIS**. 2008. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geofísica Espacial, Inpe, São José dos Campos, 2008.

FERRO, M.A. S., Apostila lightning Physics. São José dos Campos, SP- INPE, s. d. 164p.

FERNANDES, Widinei Alves. Características dos relâmpagos gerados por nuvens de tempestades em ambientes sob a influência das queimadas em Rondônia. **São José dos Campos**, 2005.

KASEMIR HW. A contribution to the electrostatic theory of a lightning discharge. *J. Geophys. Res.* 1960; 65: 1873-8.

LAURIA, P. L. Estudo dos líderes Ascendentes Iniciados nos para-raios em resposta às descargas descendentes negativas. **Tese de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, 2022.

MATHIAS, Roberta Filgueiras. Sob os caminhos e as cores de Iansã. **Teoria e Cultura**, v. 15, n. 3, 2020.

NAG, Amitabh et al. On phenomenology of compact intracloud lightning discharges. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, n. D14, 2010.

NAG, A.; MURPHY, M. J.; SCHULZ, W.; CUMMINS, K. L. Lightning locating systems: insights on characteristics and validation techniques. *Journal of Geophysical Research: Earth and Space Science*, v. 2, p. 65–93, 2015.

NAG, A.; RAKOV, V. A. Some inferences on the role of lower positive charge region in facilitating different types of lightning. *Geophysical Research Letters*, v. 36, n. 5, p. 1–5, 2009.

NAG, A.; CUMMINS, K. L.; PLAISIR, M. N.; WILSON, J. G.; CRAWFORD, D. E.; BROWN, R. G.; NOGGLE, R. C.; RASSOUL, H. K. Inferences on upward leader characteristics from measured currents. *Atmospheric Research*, v. 251, p. 105420, 2022.

RACHIDI, F.; RUBINSTEIN, M. 4th International COST Symposium on Lightning Physics and Effects. 2009.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. *Lightning physics and effects*. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2003. 687 p. ISBN 9781107340886.

RAKOV VA. Lightning phenomenology and parameters important for lightning protection, 9th International Symposium on Lightning Protection, 2007.

ROMERO, Fabio; PIANTINI, Alexandre. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS GERADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. 2015.

SABA, M. M. F. A Física das Tempestades e dos Raios: Como as nuvens se formam? A origem de uma nuvem. Grupo de Eletricidade Atmosférica Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, Física na Escola, v. 2, n. 1, 2001.

SABA, M. M. F.; PINTO, J.; BALLAROTTI, M. G. Relation between lightning return stroke peak current and following continuing current. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 23, p. 1–4, 2006.

SABA, Marcelo MF et al. Positive leader characteristics from high-speed video observations. *Geophysical Research Letters*, v. 35, n. 7, 2008.

SABA, M. M. F.; SCHULZ, W.; WARNER, T. A.; CAMPOS, L. Z. S.; SCHUMANN, C.; KRIDER, E. P.; CUMMINS, K. L.; ORVILLE, R. E. High - speed video observations of positive lightning flashes to ground. *Journal of Geophysical Research*, v. 115, p. 1–9, 2010.

SABA, M. M. F.; SCHUMANN, C.; WARNER, T. A.; FERRO, M. A. S.; PAIVA, A. R.; HELSDON, J.; ORVILLE, R. E. Upward lightning flashes characteristics from high-speed videos. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 121, p. 8493–8505, 27 jul. 2016.

SANTOS, Vagner José Rocha. O acará de Iansã na festa de Santa Bárbara: breves considerações sobre as comidas de uma festa religiosa popular em Salvador. **Revista Ingesta**, v. 1, n. 2, p. 26-37, 2019.

SARAIVA, A. C. V.; SABA, M. M. F.; PINTO, O.; CUMMINS, K. L.; KRIDER, E. P.; CAMPOS, L. Z. S. A comparative study of negative cloud-to-ground lightning characteristics in São Paulo (Brazil) and Arizona (United States) based on highspeed video observations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v. 115, n. 11, p. 1–9, 2010.

SIMPSON, G. C.; ROBINSON, G. D. The distribution of electricity in thunderclouds, II. *Proceedings of the Royal society A* , v.177, p. 281-329, 1941.

SIMPSON, G. C.; SCRASE, F. J. The distribution of electricity in thunderclouds. I. *Proceedings of the Royal society A*, v.161, p. 309-352, 1937.

THOMSON, E. M. A theoretical study of electrostatic field wave shapes from lightning leaders. *J. Geophys. Res.* 1985; 90: 8125-35.

UMAN, M.A. **Lightning**. Courier Corporation, 2012.

UMAN, M.A. *The Lightning Discharge*. p.1- 377, San Diego: Academic Press, 1987.

WILLIAMS, E. R. The tripole structure of thunderstorms. *Journal of Geophysical Research*, v. 94, p.13.151-13.167,1989.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. *Atmospheric science: an introductory survey*. 2. ed. [S.l]: Academic Press, 2006. 488 p. ISBN 9780127329512.