

# ACA-0330 – Introdução à Eletricidade Atmosférica

## CAPÍTULO - I

Introdução:

### 1. *Revisão Histórica*

Muito antes de eletricidade ser descoberta no século 18, era quase que impossível saber que a atmosfera terrestre era composta por correntes elétricas, e que os relâmpagos significavam eletricidade, e representavam uma forma de eletricidade. Entretanto, relâmpagos e trovões eram fenômenos que atraíam a atenção das pessoas para tentarem uma explicação mais racional de tal fenômeno. Civilizações antigas assumiam que tais fenômenos eram causados pelos “Deuses”. Segundo a mitologia nórdica, os relâmpagos e trovões eram provocados pelo martelo de Thor”, enquanto que a mitologia grega assumia que era Zeus, já os chineses se referiam aos vários Deuses que os governavam.

Durante a época em que os estudos de filosofia natural se tornaram mais populares, vários destes novos filósofos tentaram buscar explicações racionais para os relâmpagos e trovões. Aristóteles por exemplo sugeriu que os trovões e relâmpagos eram causados pela interação das exalações úmidas e secas das nuvens, ou seja, como as nuvens condensam e esfriam, a exalação seca era forçada e por sua vez atingiam outras nuvens, sendo que o trovão significava o impacto destas nuvens, enquanto que o relâmpago era um vento em chama produzido pelo impacto das nuvens que exalavam seco. Já nos anos de 1600, Descartes sugeriu que o trovão era causado pela ressonância do ar entre as nuvens quando uma nuvem descia sobre a outra.

Durante a segunda metade do século 18, Benjamin Franklin iniciou análises científicas em descargas elétricas por primeira vez. Estudos anteriores em eletricidade atmosférica concentravam-se na separação de cargas positivas e negativas. Durante este período, foram desenvolvidos instrumentos que podiam armazenar cargas (primeiras versões de um capacitor) através da fricção de dois materiais distintos. Sendo que este primitivo capacitor ficou conhecido como Jarras de Leyden, a partir do qual descargas elétricas (faíscas) podiam ser produzidas e observadas.

Enquanto vários pesquisadores observaram similaridades entre as descargas elétricas produzidas em laboratório e as observadas em relâmpagos, Franklin foi o primeiro a desenvolver um experimento o qual foi capaz de provar a natureza elétrica de relâmpagos. Entretanto ele não foi a primeira pessoa a provar a sua hipótese. Ele por sua vez, sugeriu em uma carta que a eletricidade poderia ser proveniente de nuvens o qual poderia ser provado a partir de medidas feitas com um poste metálico. Sendo que, se este poste fosse aterrado e um observador aproximasse um fio aterrado junto ao poste, então faíscas saltariam do poste para o fio quando uma nuvem eletrificada estivesse acima deles (Figura 1).

Após as cartas de Franklin serem publicadas em 1751, a corte real francesa decidiu tentar vários experimentos. Sendo que em maio de 1752, o francês Thomas Fracois D'Alibad obteve sucesso com o experimento de Franklin, onde as faíscas foram observadas por saltar do cabo de ferro durante uma tempestade. O físico sueco, G.W. Richman trabalhou na Rússia durante Julho de 1753, provou que as tempestades continham cargas elétricas, e morreu quando uma descarga elétrica o atingiu.

Antes de Franklin terminar seu experimento original, ele pensava que a melhor maneira para provar a sua hipótese era através de uma "pipa" voando. Esta "pipa" seria como o cabo de ferro, já que poderia alcançar altas altitudes e poderia voar em qualquer lugar. Durante uma tempestade no estado da Pensylvania em junho de 1752, Franklin pôs em prática este experimento. Durante o experimento, faíscas saltavam de uma chave que estava amarrada a corda que segurava a "pipa" para uma fita isolante de algodão envolta em sua mão. O corpo de Franklin funcionava como "terra" e produzia um caminho condutor para as correntes elétricas que eram geradas a partir de um forte campo elétrico produzido pelas tempestades. Posteriormente, Franklin conseguiu medir a polaridade das cargas medidas na "pipa" e concluiu que a maioria das tempestades eram carregadas negativamente. Em setembro de 1752, Franklin conseguiu terminar a sua ideia original. Durante a construção deste experimento, ele instalou um poste (para-raios) de 3 metros de altura acima da sua casa e aterrrou o sistema a um poço artesiano. Ele cortou o fio de aterramento e fez uma separação de 15 cm. Nas pontas de cada fio ele instalou "sinos" de metal. Entre os dois sinos ele instalou uma bola metálica isolada que estava suspensa e livre (Figura 2). Dessa maneira, este pêndulo metálico poderia balançar livremente e atingir os sinos uma vez que as nuvens elétricas passassem sobre o para-raios. Neste experimento, ele também conseguiu provar que as tempestades eram usualmente negativas. Basicamente ele comparou as cargas do fio do para-raios com uma carga positiva conhecida.

No mesmo ano de 1752, o cientista francês Lemonnier detectou uma fraca eletricidade na atmosfera quando não haviam nuvens, e determinou que a intensidade elétrica de tempo razoável ("fair weather") variava do dia para a noite. Estes resultados foram confirmados mais tarde em 1775 pelo cientista italiano Beccaria, o qual determinou que a polaridade das cargas em tempo razoável eram positivas e eram negativas quando as tempestades estavam sobre os seus instrumentos.

Poucos avanços científicos foram conseguidos até o século 19, quando a fotografia e espectrografia foram desenvolvidas. Estas técnicas produziram ferramentas para a análise de relâmpagos.

Medidas de corrente em relâmpagos foram feitas pelo alemão Pockels (1897-1900), sendo que ele analisou o campo magnético induzido por correntes de relâmpago para estimar os valores de corrente. Imagens fotográficas eram utilizadas para identificar as descargas elétricas que atingiam o chão.

Maistarde, C.T.R.Wilsonfoi o primeiroa utilizar medidasdo campoelétrico para estimara estrutura vertical de cargas das tempestadesque continhamdescargaselétricas. Além disso, Wilso ganhouo premioNobel pela invençãode uma câmarade nuvem, e desenvolveuvários estudos em relâmpagosque contribuírampara o entendimentodas presentesteorias.

A partir de 1960, um enormeinteresseem relâmpagose um conseqüentedesenvolvimento científico, deveuse em parte a proteçãodos veículos espaciais (em 1969, o fogueteApolo 12 foi atingidopor uma descargaelétrica duranteo lançamento, o qual afetoutodos os circuitos elétricos) e aos circuitoselétricos usados em computadorese outros equipamentos, bem como para melhoraras medidas e capibilidadesobservacionais as quais podiamavançar tecnologicamente.

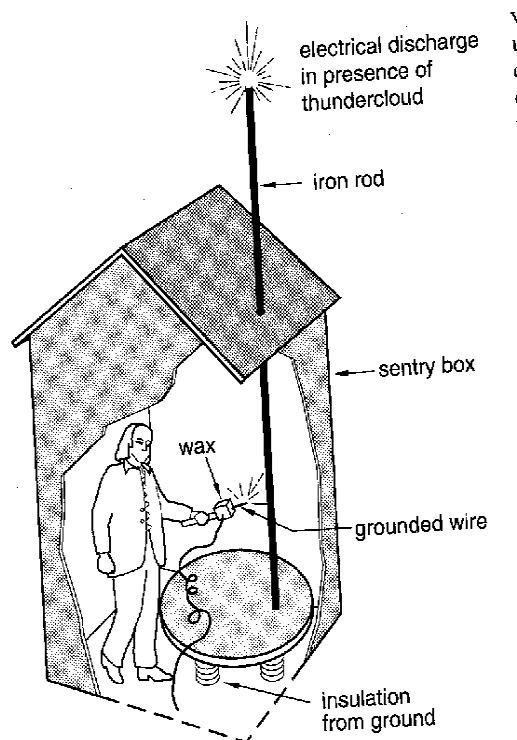


Figura 1. Reprodução do primeiro experimento realizado por Franklin em 1752 para provar que as tempestades continham eletricidade.

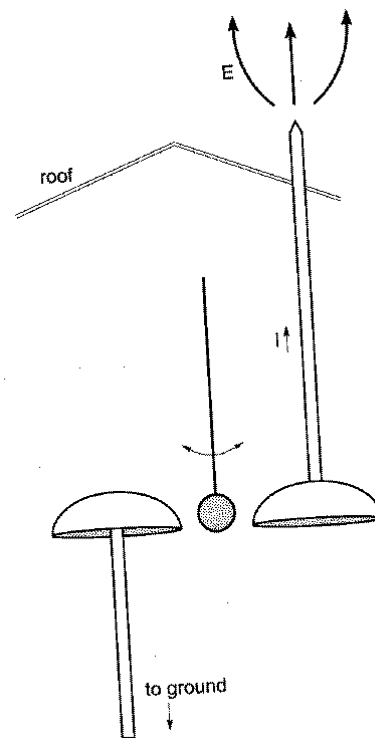


Figura 2. Reprodução do experimento original de Franklin para a medição de eletricidade e polaridade das cargas.

## 2. Aplicações das medidas de relâmpagos

O monitoramento das descargas elétricas sobre determinadas regiões do globo bem como em específicas regiões vem auxiliando institutos de pesquisa, companhias de seguros, companhias aéreas, defesa civil, serviços meteorológicos, companhias elétricas entre outras.

Dentre as várias aplicações para medidas de raios, destacam-se os seguintes tópicos:

- Melhorar os avisos de ocorrência de tempestades severas (tempestades, tornados) feitos pelo serviço meteorológico e defesa civil;
- Melhorar a segurança dos sistemas de aviação;
- Localização e Ocorrência de relâmpagos: Cia Elétricas, Cia de Seguros, Identificação de sistemas convectivos na ausência de outras medidas;
- Monitorar a frequência de queimadas em florestas causadas por relâmpagos;
- Indicador de mudanças climáticas;
- Previsão do Tempo;
- Estimativa de Precipitação, Física de Precipitação;
- Monitoramento da produção de Nox;
- Etc.

Os serviços meteorológicos e a defesa civil utilizam informações sobre a localização e frequência de raios para alertar a população sobre o potencial risco de vida ao estar sobre regiões de intensa atividade elétrica, e mesmo para combater a ocorrência de enchentes. O serviço meteorológico dos Estados Unidos (NWS) realizou estudos estatísticos durante o período de 1990-1995 e constatou que o número de fatalidades e acidentes causados por descargas elétricas para este período foi de 9 mortes, 135 acidentes pessoais e houve uma perda de 6 milhões de dólares em propriedades e custos relacionados a reconstrução.

*Johnson, R. L., D. E. Janota, J. E. Hay, 1982: An Operational Comparison of Lightning Warning Systems. Journal of Applied Meteorology: Vol. 21, No. 5, pp. 703–707.*

*Galway, Joseph O., 1992: Early Severe Thunderstorm Forecasting and Research by the United States weather Bureau. Weather and Forecasting: Vol. 7, No. 4, pp. 564–587.*

*López, Raúl E., Ronald L. Holle, 1996: Fluctuations of Lightning Casualties in the United States: 1959–1990. Journal of Climate: Vol. 9, No. 3, pp. 608–615.*

*Holle, Ronald L., Shawn P. Bennett, 1997: Lightning Ground Flashes Associated with Summer 1990 Flash Floods and Streamflow in Tucson, Arizona: An Exploratory Study. Monthly Weather Review: Vol. 125, No. 7, pp. 1526–1536*

*López, Raúl E., Ronald L. Holle, 1998: Changes in the Number of Lightning Deaths in the United States during the Twentieth Century. Journal of Climate: Vol. 11, No. 8, pp. 2070–2077.*

Os sistemas de aviação, apesar de os aviões “não sofrerem” avarias significativas quando atingidos por raios, utilizam estas informações para organizar as rotas dos aviões desde a decolagem até a aterrissagem. Basicamente, a presença de relâmpagos em uma determinada área ou em uma tempestade indica a presença de turbulência, correntes ascendentes e descendentes altas e uma grande probabilidade de granizo. Sendo que a combinação destes fatores pode danificar as aeronaves, e conseqüentemente por em risco a vida dos passageiros. Portanto, planejamentos de rotas são feitos em tempo real a fim de minimizar o tempo e o custo do voo. Os investimentos feitos pelas companhias aéreas nos Estados Unidos com a rede de detecção de raios e os próprios serviços meteorológicos beneficiaram cada companhia em torno de 24 milhões de dólares por ano.

*Stern, Andrew D., Raymond H. Brady III, Patrick D. Moore, Gary M. Carter, 1994: Identification of Aviation Weather Hazards Based on the Integration of Radar and Lightning Data. Bulletin of the American Meteorological Society: Vol. 75, No. 12, pp. 2269–2280.*

As companhias de seguro utilizam informações sobre a localização e frequência dos raios para certificar da ocorrência de tal fenômeno e assim avaliar as apólices de seguro que estão sujeitas a pagamento. Já as companhias elétricas tem dedicado muitos esforços na detecção de raios, uma vez que estes fenômenos podem causar sérios problemas nas linhas de transmissão de energia entre uma região e outra, além de obter informações mais precisas sobre quais regiões estão sendo afetadas por falta de energia. A rede de detecção de raios dos EUA (National Lightning Detection Network) foi basicamente um investimento feito pela maioria das companhias elétricas em meados de 1980. No Brasil, as companhias elétricas CEMIG, FURNAS e COPEL possuem sua própria rede de detecção de raio similar à dos EUA.

*Holle, Ronald L., Raúl E. López, Lowell J. Arnold, John Endres, 1996: Insured Lightning-Caused Property Damage in Three Western States. Journal of Applied Meteorology: Vol. 35, No. 8, pp. 1344–1351.*

*Curran, E. Brian, Ronald L. Holle, Raúl E. López, 2000: Lightning Casualties and Damages in the United States from 1959 to 1994. Journal of Climate: Vol. 13, No. 19, pp. 3448–3464.*

Florestas que possuem estresse hídrico, vegetação seca e estão sob condições de vento são potências candidatas a sofrerem queimadas. Muitas das queimadas são causadas pelos homens, entretanto em algumas regiões do globo, como por exemplo a floresta boreal no Canadá, a ocorrência de queimadas provocadas por relâmpagos tem sido comum. O serviço de florestas do Canadá e dos Estados Unidos possuem um serviço para o monitoramento do estresse hídrico da floresta em conjunto com as informações da rede de detecção de raios de cada país. [Será que este fenômeno ocorre nas florestas brasileiras?](#)

*Krider, E.P., R.C. Noggle, A.E. Pifer, D.L. Vance, 1980: Lightning Direction-Finding Systems for Forest Fire Detection. Bulletin of the American Meteorological Society: Vol. 61, No. 9, pp. 980–986.*

*Rorig, Miriam L., Sue A. Ferguson, 1999: Characteristics of Lightning and Wildland Fire Ignition in the Pacific Northwest. Journal of Applied Meteorology: Vol. 38, No. 11, pp. 1565–1575.*

As mudanças climáticas têm tido especial atenção devido ao aumento da temperatura global e a sua correlação com o crescimento da concentração de CO<sub>2</sub>. Este fenômeno conhecido como efeito estufa, pode ser utilizado para criar a hipótese de que com o aumento da temperatura global, um efeito positivo na evaporação será criado, ou seja, um aumento da nebulosidade atmosférica. Esta nebulosidade por sua vez, está relacionada com a formação de nuvens dentre as quais uma parte significativa é composta por tempestades. A partir desta hipótese, Price (2000) utilizou modelos de circulação geral (GCMs) e analisou as mudanças climáticas provocadas por este efeito através do transporte do vapor d'água na troposfera e a frequência de raios.

*Price, Colin, David Rind, 1994: The Impact of a 2 × CO<sub>2</sub> Climate on Lightning-Caused Fires. Journal of Climate: Vol. 7, No. 10, pp. 1484–1494.*

*Price, C., 2000: Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour, Nature, 406 (6793), July 20, 290-293.*

Os modelos numéricos de previsão de tempo avançaram nos últimos tempos a partir do uso de melhores computadores e mais importante por causa do aumento das técnicas de assimilação de dados. Muitas destas técnicas estão relacionadas com as parametrizações de convecção de nuvens. Estas parametrizações em geral assumem certas características das nuvens observadas, tais como a distribuição de tamanho de gotas, tipo de hidrometeorose a respectiva liberação de calor latente. Entretanto nem todas estas medidas estão disponíveis em tempo real e medidas indiretas são utilizadas. Estas medidas indiretas são relacionadas com os parâmetros físicos do modelo a fim de capturar a física da precipitação. Como exemplo da utilização de dados de raios em assimilações de modelos numéricos de meso-escala, Alexander et al. (1998) e Chang et al. (2001) assimilaram dados de relâmpagos medidos sobre os Estados Unidos e construíram relações que aumentam a liberação de calor latente na presença de relâmpagos.

*Alexander, G.D., J.A. Weinman, V.M. Karyampudi, W.S. Olson, and A.C.L. Lee, 1999: The impact of the assimilation of rain rates from satellites and lightning on forecasts of the 1993 Superstorm, Mon. Wea. Rev., 127, 1433-1457*

*Chang, DE, J. Weinman, C.A. Morales, and W. Olson, 2001: Effect of combined spaceborne microwave and continuous lightning measurements on forecasts of the 1998 Ground-Hog day storm, Mon. Wea. Rev., 129, 8, 1809-1833.*

Os métodos de estimativa de precipitação via sensoriamento remoto vem utilizando as medidas de raios para a identificação de certas propriedades observadas em tempestades. Dentre estas propriedades caracterizam-se a presença de cristais de gelo, granizo, correntes ascendentes moderadas e altas, identificação da região convectiva, e evolução temporal da tempestade. Por outro lado, medidas do campo elétrico e magnético, estudos com radares meteorológicos, medidas com aviões de física de nuvens e medidas radiométricas por satélites combinadas com a detecção de raios vem auxiliando no entendimento da formação das tempestades, na criação de cargas positivas e negativas e nos diferentes processos de formação de precipitação e eletricidade.

*Changnon, Jr., Stanley A., 1989: Relations of Thunderstorms and Cloud-to-Ground Lightning Frequencies. Journal of Climate: Vol. 2, No. 8, pp. 897–921.*

*Williams, E. R., S. A. Rutledge, S. G. Geotis, N. Renno, E. Rasmussen, T. Rickenbach, 1992: A Radar and Electrical Study of Tropical “Hot Towers”. Journal of the Atmospheric Sciences: Vol. 49, No. 15, pp. 1386–1396.*

*Changnon, Stanley A., 1992: Temporal and Spatial Relations between Hail and Lightning. Journal of Applied Meteorology: Vol. 31, No. 6, pp. 587–604.*

*Zipser, Edward J., Kurt R. Lutz, 1994: The Vertical Profile of Radar Reflectivity of Convective Cells: A Strong Indicator of Storm Intensity and Lightning Probability?. Monthly Weather Review: Vol. 122, No. 8, pp. 1751–1759.*

*Williams, Earle R., 1994: Global Circuit Response to Seasonal Variations in Global Surface Air Temperature. Monthly Weather Review: Vol. 122, No. 8, pp. 1917–1929.*

*Zipser, Edward J., 1994: Deep Cumulonimbus Cloud Systems in the Tropics with and without Lightning. Monthly Weather Review: Vol. 122, No. 8, pp. 1837–1851.*

*Mohr, Karen I., Richard Toracinta, Edward J. Zipser, Richard E. Orville, 1996: A Comparison of WSR-88D Reflectivities, SSM/I Brightness Temperatures, and Lightning for Mesoscale Convective Systems in Texas. Part II. SSM/I Brightness Temperatures and Lightning. Journal of Applied Meteorology: Vol. 35, No. 6, pp. 919–931.*

*Huffines, Gary R., Richard E. Orville, 1999: Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96. Journal of Applied Meteorology: Vol. 38, No. 7, pp. 1013–1019.*

*Boccippio, Dennis J., Steven J. Goodman, Stan Heckman, 2000: Regional Differences in Tropical Lightning Distributions. Journal of Applied Meteorology: Vol. 39, No. 12, pp. 2231–2248.*

*Greco, Mircea, Emmanouil N. Anagnostou, Robert F. Adler, 2000: Assessment of the Use of Lightning Information in Satellite Infrared Rainfall Estimation. Journal of Hydrometeorology: Vol. 1, No. 3, pp. 211–221.*

Finalmente, as moléculas de NO<sub>x</sub> representam uma peça importante nos processos fotoquímicos da baixa atmosfera e troposfera, pois agem como controladores das concentrações de ozônio e dos radicais OH, além de controlar a acidez da água e da chuva. Acredita-se que os raios são uma das fontes produtoras de NO<sub>x</sub>. Estudos em química da atmosfera vem tentando calcular o tempo de fixação dos raios na produção de NO<sub>x</sub>. A teoria de produção de NO<sub>x</sub> por raios baseia-se que durante a descarga elétrica, a radiação emitida que é visível, mudanças químicas ocorrem no ar. Estas mudanças estão relacionadas com a ionização do ar e a dissociação das moléculas de N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, bem como CN e H, CO e H<sub>2</sub>.

*Chameides, W.L., D.H. Stedman, R.R. Dickerson, D.W. Rusch, R.J. Cicerone, 1977: NO<sub>x</sub> Production in Lightning. Journal of the Atmospheric Sciences: Vol. 34, No. 1, pp. 143–149.*



### 3. Tipos de Relâmpagos

Os raios mais comuns observados na atmosfera são: a) Nuvem-Terra (CG-Cloud-to-Ground); b) Em Nuvem (IC-Intra-Cloud); e c) Entre Nuvens (CC-Inter-Clouds).

Os raios tipo CG são os mais perigosos e devastadores. Entretanto não são tão numerosos como os IC e CC, mas são os que mais temos conhecimento. A maioria destas descargas elétricas originam-se próximo a parte central baixa da nuvem carregada negativamente e que conseqüentemente produz uma descarga negativa sobre a terra. Uma pequena fração das descargas elétricas observadas sobre a terra são positivas. Estas descargas positivas são comumente observadas durante os estágios de dissipação das tempestades e em tempestades durante o inverno.



Figura 3. Descargas elétricas do tipo CG.

Os raios tipo IC são as descargas elétricas mais comuns. Este tipo de raio ocorre entre centros carregados opostamente (um negativo e outro positivo) dentro de uma nuvem. Usualmente estes processos ocorrem dentro da nuvem e vistos de fora da nuvem parecem uma luz difusa que fica piscando. Além disso, estas descargas podem existir na periferia da nuvem e um canal visível, parecido com uma descarga CG, pode ser visível a vários quilômetros de distância.



Figura 4. Descarga elétrica do tipo IC.

A razão entre raios tipo IC e CG pode variar significativamente entre tempestades (1:1 a 100:1). Tempestades que possuem desenvolvimento vertical acentuado podem desenvolver exclusivamente raios tipo IC. Algumas pesquisas sugerem que existe uma dependência das descargas elétricas em função da latitude, onde os raios tipo CG são mais frequentes em altas latitudes. Já outros estudos sugerem que a altura das tempestades é mais importante que as variações em latitude. Recentes estudos comprovaram as teorias que as descargas elétricas se concentram mais sobre os continentes do que sobre os oceanos.

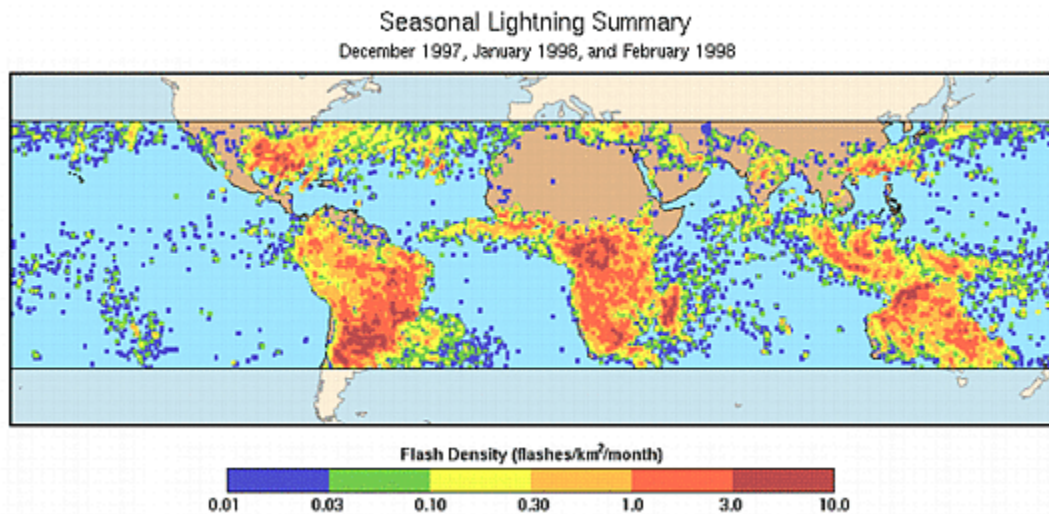


Figura 5: Distribuição espacial da frequência de raios medida pelo Lightning Imaging Sensor durante Dezembro-1997 à Fevereiro-1998 (<http://thunder.msfc.nasa.gov>).

Infelizmente detalhes sobre porque as descargas elétricas ocorrem dentro da nuvem ou se propagam para a terra ainda não são bem entendidas. Talvez, os raios se propagam em direção a terra quando o gradiente do campo elétrico na parte mais baixa da nuvem é suficientemente forte na direção sobre a terra. Dependendo da altura da nuvem acima do chão e variações na magnitude do campo elétrico entre a nuvem e a terra, a descarga pode ficar na nuvem ou fazer um direto contato com a terra. Se o campo elétrico é alto na região mais baixa da nuvem uma descarga para baixo pode ocorrer a partir da nuvem para a terra.

Os raios tipo CC ocorrem entre centros carregados entre 2 nuvens diferentes, sendo que a descarga elétrica produz a ponte entre o ar livre entre as duas nuvens.

Além dos raios tipo CG, IC e CC, vários outros tipos de relâmpagos são observados na natureza. Entre eles estão: Raio Bola, Raio Calor, Raio Gota, Raio Folha, Raio Silêncio, Raio Preto, Raio Fita, Raio Colorido, Raio Tubular, Raio Circular, Raio Nuvem-Ar, Raio Estratoférico, Sprites Vermelhos, Jatos Azuis, e Elvets.

Pergunta:

Qual seria a razão de as descargas elétricas serem mais frequentes sobre o continente do que sobre o oceano?

Verifique o site <http://thunder.msfc.nasa.gov> sobre a distribuição espacial e temporal de raios sobre o globo a partir de medidas como o Optical Lightning Sensor (OLS), Optical Transient Detector (OTD) e o Lightning Imaging Sensor (LIS). Mais detalhes sobre este problema são discutidos em:

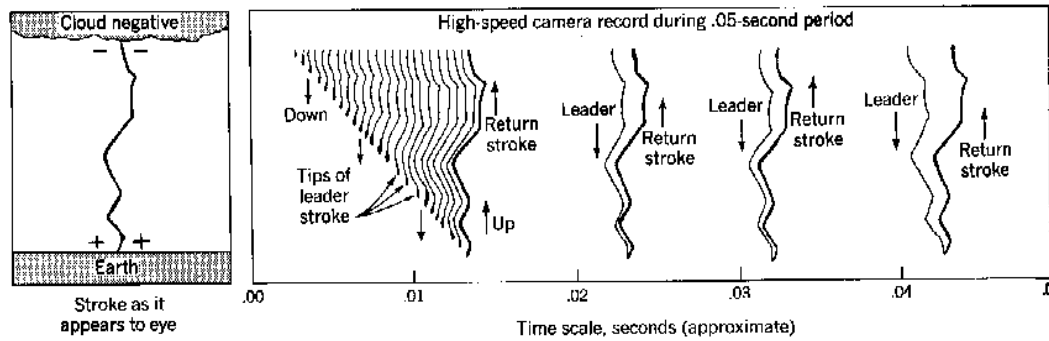
- Boccippio, Dennis J., Steven J. Goodman, Stan Heckman, 2000: *Regional Differences in Tropical Lightning Distributions. Journal of Applied Meteorology: Vol. 39, No. 12, pp. 2231–2248;*

- E. Williams, K. Rothkin, D. Stevenson, and D. Boccippio, 2002: *Global Lightning Variations Caused by Changes in Thunderstorm Flash Rate and by Changes in the Number of Thunderstorms., Journal of Applied Meteorology, Vol. 39, No. 12, pp. 2223–2230;*

- Petersen WA, Rutledge SA, 1998: *On the relationship between cloud-to-ground lightning and convective rainfall, J. GEOPHYS. RES. ATMOS., 103 (D12): 14025-14040, JUN 27, 1998*

### 3.1 Descrição dos processos de descargas elétricas:

Como início da propagação da descarga elétrica no ar sobre uma região com um forte campo elétrico, um raio começa a se propagar em direção à terra. Este raio se move em passos discretos de ~50 metros e é conhecido como raio líder (:stepped leader"). (Figura 6) Como crescimento deste raio, ele cria um caminho ionizado que deposita cargas ao longo do canal, e como o raio líder está próximo da terra, uma grande diferença de potencial é criada entre o fim do raio líder e a terra. Tipicamente, um raio é formado a partir da terra o qual intercepta o raio líder antes de alcançar a terra. Uma vez que o caminho dos raios está conectado, uma descarga de retorno viaja para cima através do caminho já ionizado a uma velocidade próxima da velocidade da luz. Esta descarga de retorno libera uma grande quantidade de energia, o que provoca uma ionização no ar, ou seja, uma luz brilhante ou relâmpago, e durante esta troca de energia uma onda de som é provocada, ou seja, o trovão. Ocasionalmente quando uma tempestade se forma sobre um objeto alto aterrado sobre a terra, tais como antenas de rádio, um raio líder se propaga para cima em direção à nuvem. Estes raios tipo "terra-nuvem" geralmente transferem carga positiva para a terra e são caracterizados pelo efeito de pontas.



**FIGURE 14.19.** A lightning stroke analyzed by high-speed camera photograph. (After U.S. Department of Commerce (1955), C.A.A. Technical Manual, 104, Washington, U.S. Govt. Printing Office.)  
 Figura 6. Descrição de uma descarga elétrica do tipo CG.

Os raios tipo IC e CC tem o mesmo princípio de início e desenvolvimento que os raios tipo CG possuem, mas as descargas ocorrem entre regiões de cargas opostas. Estes raios entretanto não possuem efeito condutor do ar sobre a terra, os raios IC não produzem descargas de retorno, mas são caracterizados por se propagarem mais devagar e na forma de “molas ou espirais” e apresentam mudanças “K”. Obstante deste efeito, estes raios produzem considerável quantidade de energia, e ambos os relâmpagos “trovões” são também produzidos.

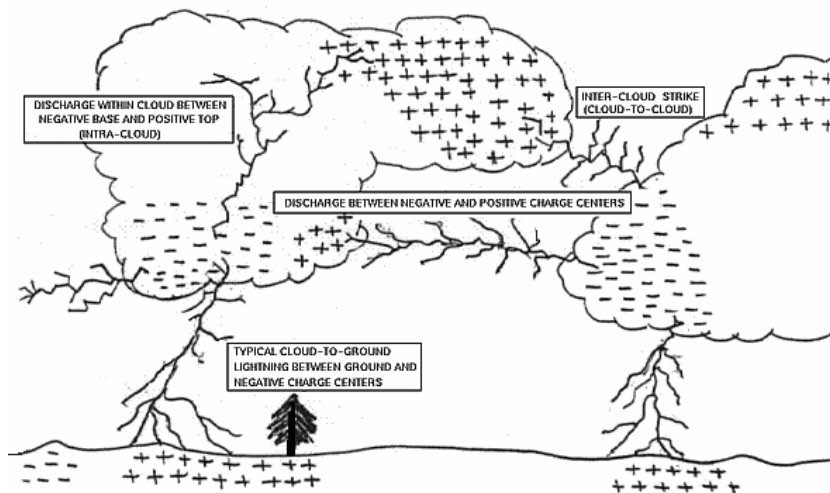


Figura 7. Desenhos esquemáticos da distribuição vertical das cargas em tempestades, bem como o processo de descargas elétricas tipo CG, IC e CC.