



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MEDIDAS DE TEMPESTADES ASSOCIADAS À *SPRITES* NO SUL DO BRASIL

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

PROCESSO Nº 107.622/2003-3

Vandoir Bourscheidt (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: vandoir@lacesm.ufsm.br

Dr. Osmar Pinto Junior (DGE/INPE, Orientador)
E-mail: osmar@dge.inpe.br

Santa Maria, Maio de 2004



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Bolsista

Vandoir Bourscheidt

Acadêmico do curso de Geografia – Bacharelado

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Processo:

107622/2003-3

Orientador

Dr. Osmar Pinto Junior

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA

Divisão de Geofísica Espacial – DGE

Execução do projeto

Laboratório de Eletricidade Atmosférica

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT

Observatório Espacial Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

Colaboradores

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE – MCT

Dr. João Paulo Minussi – DESP/CT/UFSM

Acadêmico Fábio Marcelo Breunig - Cursos: Geografia; Física -UFSM



AGRADECIMENTOS

É de extrema importância destacar as pessoas que estiveram presentes ao longo das etapas do trabalho, especialmente aos mais próximos. Em primeiro lugar agradeço a Deus, por permitir que o trabalho fosse desenvolvido com sucesso, em plena saúde e pelo conforto nos momentos difíceis. A minha família, pais e irmãos, que sempre me incentivaram e educaram. Ao Dr. Osmar Pinto Junior, especialmente pelo grande apoio oferecido na elaboração do projeto e pela confiança dedicada, mesmo em função da distância. Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, que sempre buscou incentivar e exigir o necessário para que o projeto fosse desenvolvido nos devidos parâmetros. Ao Prof. Dr. João Paulo Minussi, por também ser responsável pelo desenvolvimento da pesquisa e auxiliar de forma a aumentar o nosso conhecimento na área, sempre à disposição para qualquer dúvida. E ao colega e amigo Fábio Marcelo Breunig, que esteve presente em todos os momentos do desenvolvimento da pesquisa, auxiliando nas dúvidas e auxiliando no que fosse possível. Assim, de forma geral agradeço a todas as pessoas que estiveram presentes em todas ou em qualquer etapa do desenvolvimento da pesquisa, auxiliando direta ou indiretamente.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. JUSTIFICATIVA.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo Geral.....	12
3.2 Objetivos Específicos	12
4. METODOLOGIA DO ESTUDO	13
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1. RESUMO HISTÓRICO	16
5.1.1. Histórico das Descargas Elétricas.....	16
5.1.2. Histórico dos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera.....	20
5.2. ASPECTOS TEÓRICOS.....	21
5.2.1 Campo Elétrico Atmosférico Global e Eletricidade Atmosférica	21
5.2.2. Camadas Atmosféricas.....	24
5.2.3. Formação de Tempestades	27
5.2.4. Eletrificação das nuvens	32
5.2.5. Tipos de Relâmpagos.....	36
5.2.5.1. Relâmpagos Nuvem-Solo.....	37
5.2.5.2. Relâmpagos solo-nuvem	41
5.2.5.3. Relâmpagos Intra-nuvem	42
5.2.6. Índice Ceráunico.....	44
5.2.7. Satélite TRMM.....	45
5.2.8. Sistemas de Detecção de Relâmpagos.....	46
5.2.9. Proteção contra Relâmpagos	47
5.2.10. Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera	50
5.2.10.1. Sprites.....	51
5.2.10.2. E.L.V.E.S. (Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations From Electromagnetically Pulsed Sources).....	54



Relatório Final de Atividades 2004

5.2.10.3. Jatos Azuis ou “Blue Jats”	54
5.2.10.4. Precursores Azuis ou Precursores	55
5.2.10.5. Sprites e relâmpagos nuvem-solo positivos	56
5.2.10.6. Sprites e relâmpagos nuvem-solo negativos.....	57
5.2.11. <i>Campos Elétricos associados à sprites</i>	57
5.2.11.4. Fortes campos quase eletrostáticos	57
5.2.11.2. Outros campos elétricos associados à sprites	58
5.2.12. Equipamento ótico para levantamento de dados	59
6. RESULTADOS.....	61
7. CONCLUSÕES	75
8. BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS.....	80
A. Trabalhos publicados.....	80
A.1. “ <i>Descargas Atmosféricas no Sul do Brasil</i> ”	80
A.2. “ <i>Sistema de detecção de descargas atmosféricas do Sul do Brasil</i> ”	80
A.3. “ <i>Análise das descargas atmosféricas no Sul do Brasil a partir de dados do sensor OTD</i> ”	80
A.4. “ <i>Introdução ao estudo de sprites, E.L.V.I.S. e blue jats</i> ”	80
B. Trabalhos a serem submetidos	81
B.1. “ <i>Estudo da atividade de relâmpagos no rio grande do sul em função das características geográficas</i> ”	81
B.2. “ <i>Estudo da relação entre continente e oceano na variação de descargas atmosféricas no Rio Grande do Sul</i> ”	81
C. Relatório sobre o Laudo elaborado em Chapecó/SC.....	82
C.1. Síntese	82
C.2. Análise descritiva.....	82
C.3. Procedimentos	84
C.4. Resultados	85
D. Certificados de Participação em Eventos e Cursos	87



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – 1° Experimento Realizado por Franklin	18
Figura 2 – 2° Experimento realizado por Franklin	19
Figura 3 - Modelo simplificado do Campo Elétrico Atmosférico Global	23
Figura 4 - Camadas da Atmosfera terrestre.....	26
Figura 5 – Desenvolvimento de uma tempestade isolada	30
Figura 6 – Desenvolvimento de uma tempestade organizada	30
Figura 7 – Diferentes sistemas de tempestade.....	31
Figura 8 – Modelo de eletrificação bipolar e respectivos campos associados	33
Figura 9 – Processo de Eletrificação de Nuvens	33
Figura 10 – processo indutivo de separação de cargas	35
Figura 11 – Processo de Eletrificação Termoelétrico	35
Figura 12 - Tipos de relâmpagos e cargas associadas.....	37
Figura 13 – Relâmpagos nuvem-solo e relâmpagos solo-nuvem	42
Figura 14 – Exemplo de relâmpago intra-nuvem	43
Figura 15 – Exemplo de mapa isoceráunico.....	44
Figura 16 – Imagem dos sensores LIS e OTD para o RS	46
Figura 17 – Teoria do Cone de Proteção.....	49
Figura 18 – Teoria da esfera rolante	50
Figura 19 – Sprites, Elves e Campos Elétricos Associados	52
Figura 20 - Descargas elétricas acumuladas dos meses de janeiro.....	63
Figura21 – Variação anual de descargas atmosféricas.....	65
Figura 22 – descargas acumuladas dos meses de junho.....	66
Figura 23 – Média de Relâmpagos por Ano e Faixa (Longitude).....	67
Figura 24 – Média de Descargas por Ano e Longitude	68
Figura 25 – Média de Descargas por Estação e Longitude	69
Figura 26 – Variação espacial no total de descargas	70
Figura 28 – Total de Relâmpagos no Verão.....	71



Relatório Final de Atividades 2004

Figura 29 -- Total de relâmpagos no Outono	72
Figura 30 – Total de relâmpagos no Inverno.....	72
Figura 31 – Total de Relâmpagos na Primavera.....	73



1. INTRODUÇÃO

O relatório final da bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq procura expor os resultados obtidos ao longo do período proposto pelo projeto. Isto se fez pela obtenção de conhecimentos básicos a respeito dos fenômenos conhecidos como Sprites, adjunto de pesquisas, literaturas pertinentes e o trabalho na campanha de coletas de dados e imagens sobre esses fenômenos luminosos de alta Atmosfera, bem como maiores conhecimentos quanto a descargas elétricas no seu sentido geral.

Muito pouco conhecimento se tem sobre as implicações das descargas atmosféricas sobre os homens e especialmente sobre suas atividades. Grandes esforços estão sendo desenvolvidos, especialmente ao longo das últimas décadas, envolvendo equipamentos de alta tecnologia e grande sensibilidade, meios de comunicação, linhas de transmissão de energia, bem como o surgimento de inúmeras outras “tecnologias” necessárias para que a economia mundial continue se desenvolvendo. Grandes quedas de energia já causaram perdas da ordem de milhões de dólares para as nações. O próprio Brasil já sofreu com as quedas de energia, o que causou prejuízos de proporções preocupantes. Porém, não só em quedas de energia esses fenômenos implicam, sendo, portanto de grande importância o seu estudo, bem como dos fenômenos correlatos.

Sabemos que os *sprites*, além dos seus “parentes próximos” – *blue jets*, Precursores Azuis ou Precursores e *elves* – também se conceituam como descargas elétricas atmosféricas, mas que, no entanto, apresentam características distintas das descargas convencionais. Esses fenômenos podem ter grandes implicações sobre os sistemas de comunicação, principalmente na média e alta Atmosfera.

Os *sprites*, assim como os demais fenômenos transientes de alta Atmosfera, estão intimamente relacionados às tempestades que ocorrem no mundo a todo instante, que somam cerca de 2000 tempestades a todo instante (Rycroft *et al*, 2000), e mais ainda aos relâmpagos que nelas ocorrem. Esses relâmpagos podem ocorrer de várias formas e com polaridades distintas, recebendo para cada uma delas uma denominação específica, ou



Relatório Final de Atividades 2004

seja, relâmpagos nuvem-solo, solo-nuvem, intra-nuvem, entre nuvens, da nuvem para o ar e da nuvem para cima. No entanto, entre esses relâmpagos, observa-se uma relação mais freqüente entre os *sprites* e os relâmpagos nuvem-solo, geralmente os positivos.

Ao contrário do que se imaginava inicialmente, a Atmosfera é condutora, o que leva ao problema fundamental da eletricidade atmosférica, ou seja, de como a carga negativa da Terra é mantida. Esse problema é explicado pelo Campo elétrico Atmosférico global. Os relâmpagos, juntamente com os fenômenos de alta Atmosfera irão formar esse campo, que reúne todos os processos elétricos que ocorrem na Atmosfera, e dos quais as tempestades se encontram como geradores. E é desses geradores que depende a permanência da eletricidade na atmosfera.

Estas tempestades têm origem nos fenômenos meteorológicos que ocorrem a todo o momento, os quais dependem necessariamente da temperatura e da umidade, que constituem os elementos fundamentais na formação das nuvens e possíveis tempestades. Esta temperatura, que decai com a altitude a uma média de $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilometro e atinge valores mínimos na Tropopausa (Ayoade, 1998), é importante na convecção do ar, bem como na condensação do vapor de água. Já o vapor de água depende das partículas higroscópicas, poeira e aerossóis, que se tornam núcleos de condensação, formando as gotas d'água. À medida que as gotas assumem um determinado tamanho, que não é mais suportado pela ação das correntes ascendentes de ar, elas caem na forma de chuva.

E é esse processo que leva ao carregamento elétrico das nuvens e conseqüentemente a ocorrência dos relâmpagos. Diversas teorias buscam explicar tanto o processo de carregamento como os centros de carga dentro da nuvem, sendo as mesmas, ou considerando processos indutivos (gravitacional) ou não-indutivos (termoelétrico) (Tavares, 1999).

Quando o campo elétrico gerado nas nuvens atinge valores extremos, ou seja, da ordem de 1 milhão de volts por metro, a rigidez do ar é quebrada e ocorre o relâmpago (Pinto Jr. e Pinto, 1996).

Quando se trata dos fenômenos transientes de alta atmosfera, deve-se destacar também a sua relação com o campo elétrico atmosférico global e, portanto, sua



Relatório Final de Atividades 2004

associação com as tempestades. No entanto, eles estão geralmente condicionados a um aumento do campo elétrico, campos quase-eletrostáticos (QEs) e campos gerados por pulsos eletromagnéticos (PEMs), que são gerados normalmente por descargas nuvem-solo positivas, em menor instância negativas e durante os picos de atividades dos relâmpagos, ou seja, quando as correntes possuem valores máximos e a frequência de descargas é máxima.

Nem todas as tempestades produzem *sprites*, *elves* ou *blue jats*, estando estes mais condicionados a grandes sistemas convectivos, os chamados Sistemas Convectivos de Mesoescala e aos Complexos Convectivos de Mesoescala.

Ainda se tem pouco conhecimento das implicações destes nas atividades humanas, mas à medida que novos estudos são desenvolvidos, novas suposições aparecem, o que prova que a necessidade de pesquisa nunca cessa.

O objetivo do trabalho é, pois, adquirir um conhecimento básico a respeito desses fenômenos, especialmente os *sprites*, com o intuito de adentrar nessa área científica e conjugar a literatura, o trabalho interdisciplinar e o trabalho em grupo.



2. JUSTIFICATIVA

A todo o momento estão ocorrendo tempestades ao redor do mundo, que somadas chegam à cerca de 2000. Estas tempestades são responsáveis pela geração de milhares ou centenas de milhares de relâmpagos. Estes relâmpagos, ao mesmo tempo em que, segundo os estudos indicam, são partes fundamentais do problema da eletricidade atmosférica, podem causar prejuízos inestimáveis ao homem e as suas atividades.

No mundo ocorrem milhares de mortes causadas todo ano por relâmpagos. Além do mais, há ainda que considerar seus prejuízos com relação à economia, que afetam direta ou indiretamente a vida das pessoas.

É este âmbito conjuntamente fascinante e aterrador que enche de curiosidade as mais diversas pessoas e que leva ao aprofundamento do conhecimento neste campo científico. Curiosidade esta, que é trazida a vários séculos e que sempre permanece, visto a gama de novas descobertas com relação a estes fenômenos que ocorrem constantemente.

Embora a finalidade do estudo possa se dispersar em vários caminhos, é na idéia de que o estudo pode servir como instrumento de proteção às pessoas, além da redução de prejuízos nos mais diversos setores da economia, como o setor energético, de comunicações e de alta tecnologia, que prosseguirão as atividades, no objetivo de contribuir para as ciências atmosféricas e espaciais.

Dessa maneira, justifica-se a necessidade de pesquisa com relação às descargas atmosféricas, levando contribuições tanto para as ciências atmosféricas e espaciais quanto para a sociedade como um todo.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Elaborar estudos que venham a contribuir em pesquisas na área de Eletricidade Atmosférica.

3.2 Objetivos Específicos

- Obter formação básica na área de Eletricidade Atmosférica, tanto do ponto de vista teórico como experimental;
- Fazer um estudo introdutório dos fenômenos luminosos de alta Atmosfera, especialmente sobre os sprites;
- Participar na preparação para a campanha de medida de tempestades associadas a sprites;



4. METODOLOGIA DO ESTUDO

Para o prosseguimento das atividades referentes à bolsa de pesquisa, seguiu-se de forma a acompanhar os objetivos propostos no projeto, sendo que, em um primeiro momento, teve-se uma introdução ao estudo dos relâmpagos do ponto de vista teórico por uma extensa revisão bibliográfica, a partir de livros e artigos publicados, tanto nacionais como internacionais, dos quais destacamos as obras de Pinto Jr. e Pinto e Tavares (1999), entre tantos outros.

Com referência às atividades experimentais, procurou-se prosseguir, juntamente com os professores colaboradores, na tomada de conhecimento do ponto de vista experimental, sendo este feito pelo conhecimento de equipamentos relacionados a descargas elétricas, pela elaboração do laudo técnico na cidade de Chapecó, em Santa Catarina, ou junto ao Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra.

Com relação às demais atividades desenvolvidas no período proposto, destacam-se a elaboração de alguns trabalhos e artigos publicados e a serem submetidos.

Pode-se desta forma ressaltar o trabalho referente às descargas elétricas no sul do Brasil, cuja pesquisa teve como base dados do sensor de relâmpagos por imageamento LIS (*Lightning Imaging Sensor*). Dessa forma, como exposto anteriormente, o sensor mede a descarga elétrica, a hora em que o evento acontece, mede a energia radiante e estima a localização do evento. Os dados foram obtidos a partir do site da NASA (National Aeronautic and Space Administration), a qual processou os dados/informações obtidos pelo sensor e os disponibilizou a todos os usuários interessados no site <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning-cgi-bin>.

Para se fazer a análise mensal, foi feita a sobreposição das imagens mensais dos anos de 1998 a 2002, possibilitando analisar em uma escala temporal mensal, as diferenças no total de descargas elétricas que ocorreram nesta região nos últimos cinco anos. A área em questão localiza-se entre as coordenadas: 20° e 38° de latitude S; e 44° e



Relatório Final de Atividades 2004

64° de longitude W, abrangendo territórios do Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia.

Outro trabalho realizado ainda se refere ao estudo da relação entre oceano e continente na variação de descargas atmosféricas no Rio grande do Sul, onde os dados do mesmo sensor foram expostos a um processo de seleção, que se limitou aos dados disponíveis nos anos de 1998 a 2003, selecionando para cada estação do ano – no caso correspondendo a três meses, que incluem desde dezembro de 1998 a novembro de 2003 – para cada quadrícula delimitada sobre a região a ser estudada.

A região em estudo corresponde ao litoral de Rio Grande do Sul. Para cada estação do ano se selecionou uma quadrícula correspondendo a uma determinada latitude e uma determinada longitude – correspondendo a uma região sobre o continente, outra em transição e outra sobre o oceano. As latitudes foram obtidas em seqüência, indo desde o paralelo de -28.000 até o paralelo de -33.500 de latitude Sul, com intervalos de 0,5°. Já as longitudes foram obtidas de três a três, acompanhando a faixa litorânea, também com intervalos de 0,5°. Dessa forma os dados obtidos foram sendo selecionados de forma a atenderem os objetivos do trabalho.

Após a obtenção dos dados, os mesmos passaram por um processo de tratamento no Microsoft Excel, onde foram organizados, obtendo-se as médias, somatórias e tendências dos dados para fins analíticos. A partir dos resultados foram elaborados gráficos representativos para melhor explicar os resultados.

Após o tratamento dos dados, foram elaborados mapas demonstrando as variações espaciais no total de descargas, bem como a variação sazonal das mesmas, identificando a variação em cada estação do ano no intervalo entre o verão de 1998/99 e a primavera de 2003. Para tal, foram criadas 6 classes para o total de descargas geral e para o total de cada estação do ano, com a finalidade de observar a variação em cada um dos mapas e em cada situação do ano.

Ainda com relação ao trabalho, tem se o levantamento de dados sobre a umidade do ar e a TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no período prescrito anteriormente,



Relatório Final de Atividades 2004

com fins de comparação e relação da temperatura, umidade e o total de relâmpagos na região em estudo.

Por fim, a partir dos dados resultantes, passou-se à análise dos mesmos, identificando suas características e suas relações com a formação das tempestades, especialmente considerando as características temporais locais.

Ainda com referência aos trabalhos desenvolvidos no período, destacamos o trabalho mais direcionado ao estudo dos sprites, fenômenos os quais são destacados no projeto, sendo elaborado um trabalho basicamente teórico sobre a introdução ao estudo de sprites, elves e blue Jats, especialmente no sul do Brasil, onde estes ainda são pouco conhecidos e estudados.

Com relação ao acompanhamento da campanha, proposto para o segundo e terceiro trimestre, o mesmo fez-se pelo aprofundamento no estudo tanto de sprites como dos relâmpagos, para posteriormente adentrar nos auxílios aos preparativos da campanha a ser realizada, a princípio, entre outubro deste ano e março de 2005. No momento ainda estão transitando as medidas e determinações para a preparação da campanha nos Estados Unidos, sendo que após a liberação do processo passar-se-á aos preparativos para a campanha no Rio grande do Sul.



5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. RESUMO HISTÓRICO

A partir do momento em que se descobriu a eletricidade, ou seja, no fim do século XVIII, também se passou a observar esse fenômeno em inúmeros casos, sendo então proposto também para o até então mitológico relâmpago. Foi, pois, nesse momento que se passou a estudar a natureza elétrica da Atmosfera.

É possível dizer que foi no momento em que William Wall, em 1708, observou uma fâsca que saltava de um pedaço de âmbar e identificou-a como semelhante a um relâmpago. A partir daí teve origem a crença de que a Atmosfera continha eletricidade e de que os relâmpagos são descargas elétricas que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas dentro das nuvens, geralmente de tempestades, também conhecidas como *Cumulunimbus*.

5.1.1. Histórico das Descargas Elétricas

Foi Benjamin Franklin o primeiro a propor a teoria da natureza elétrica da Atmosfera, através de um experimento que se resumia a um mastro metálico isolado e um fio condutor aterrado, sendo que aproximando o fio aterrado do mastro metálico deveria saltar uma fâsca do mesmo, comprovando a natureza elétrica da Atmosfera. No entanto o experimento só se mostrou verdadeiro quando, em maio de 1752, Thomas-François D'Alibard repetiu o experimento e provou a natureza elétrica dos relâmpagos.

Também em 1752, L. G. Lemonnier repetiu o experimento de Franklin, porém, ao invés de um fio aterrado, usou poeira para ver se ela era atraída. Ele descobriu que mesmo quando não havia nuvens, a situação conhecida como Atmosfera de tempo bom, uma fraca eletrificação existia na Atmosfera (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Franklin propôs novamente uma forma de identificar a natureza elétrica do relâmpago em 1752, através do seu famoso experimento com uma pipa (Figura 2), a qual



Relatório Final de Atividades 2004

era presa por um fio condutor e empinada em uma região próxima de uma nuvem de tempestade. A carga induzida na pipa deslocava-se pelo fio, provocando uma pequena descarga entre uma chave colocada na extremidade do fio e o seu braço, sendo que muitas pessoas morreram posteriormente tentando repetir o experimento (Pinto Jr. e Pinto, 1996).

Neste mesmo ano, Franklin realizaria outro experimento para investigar a estrutura elétrica das nuvens. O instrumento consistia em uma haste metálica colocada em cima de sua casa, conectada a um fio aterrado. Ele cortou esse fio e colocou meio sino em cada uma das extremidades, separando-as por cerca de 15 centímetros. Entre os sinos foi suspensa uma esfera metálica, que se movia e batia nos sinos quando uma nuvem de tempestade estava próxima. Para identificar as cargas ele comparou a carga do fio com a carga conhecida, determinando que a carga na base da nuvem seria negativa (Pinto Jr. e Pinto, 2000). Um esboço do experimento de Franklin pode ser observado na Figura 1.

Em 1775, G. Beccaria confirmou a existência de variação diurna da eletrificação na condição de tempo bom e determinou que a polaridade da carga elétrica na Atmosfera nestas condições era positiva e que ela mudava para negativa quando havia tempestades próximas, concordando com as observações de Franklin. Dando seqüência, em 1779, H. B. Saussure mediu pela primeira vez a carga induzida em um condutor imerso na Atmosfera, cujo instrumento consistia em observar a separação entre duas esferas suspensas lado a lado por finos fios. A partir disso, ele descobriu uma variação anual da eletrificação em condições de tempo bom, além da variação com a altitude. Ele assumia, portanto, que o ar continha carga positiva (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Em 1785, C. A. Coulomb descobriu que o ar é condutor, observando que um objeto condutor isolado exposto ao ar gradualmente perdia sua carga. Sua descoberta, no entanto, não foi aceita na época, visto que os gases eram considerados como isolantes, sendo essa teoria esquecida. Em 1887, W. Linss chegou aos mesmos resultados obtidos por Coulomb cerca de 100 anos antes e estimou que a Terra perderia quase toda a sua carga para a Atmosfera condutora em menos de uma hora, a menos que uma fonte de

Relatório Final de Atividades 2004

cargas fosse restabelecida. Este fato deu origem ao que se tornou conhecido como problema fundamental da eletricidade atmosférica, isto é, como a carga negativa da Terra é mantida.

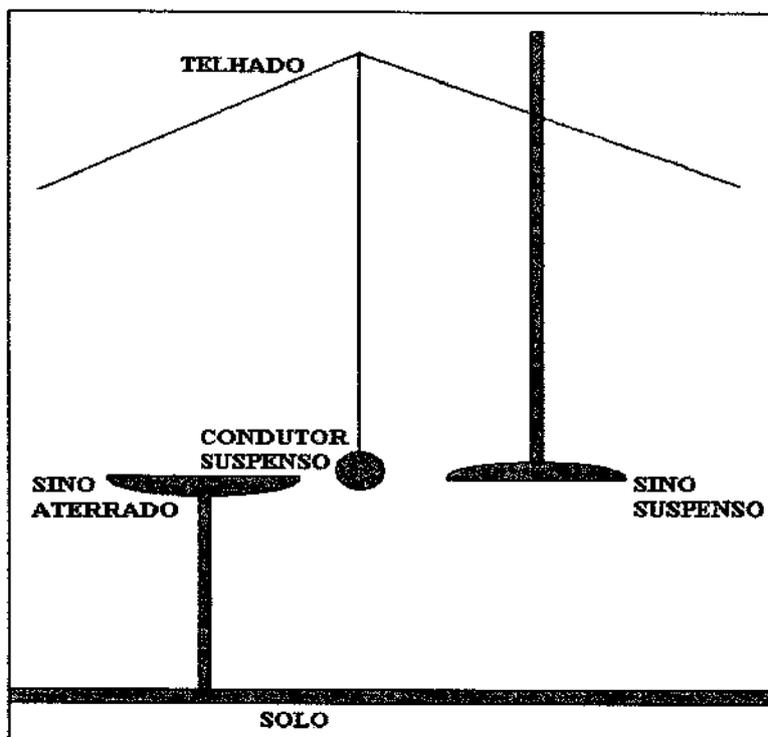


Figura 1 – 1º Experimento Realizado por Franklin
Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

As primeiras idéias para resolver este problema somente surgiram no século seguinte. Já no ano de 1804, P. Erman, de modo a explicar as observações de Saussure, sugeriu pela primeira vez que a Terra deveria ser carregada negativamente (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Em 1842, J. Pettier confirmou esta idéia e sugeriu que a carga no ar deveria ser originária da Terra, a qual por sua vez teria se tornada carregada durante a sua formação. Em 1860, W. Thompson defendeu a idéia de que cargas positivas deveriam existir na Atmosfera para explicar a sua eletrificação em tempo bom. Ele foi também o primeiro a reconhecer a eletrificação da Atmosfera como uma manifestação de um campo elétrico (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Relatório Final de Atividades 2004

Em 1885, J. Elster e H. F. Geitel propuseram a primeira teoria para explicar a estrutura elétrica das tempestades. Em meados de 1888, H. Hirm sugeriu pela primeira vez que os trovões eram produzidos pelo aquecimento do ar provocado pelo relâmpago. Em 1897, F. Pockels estimou pela primeira vez a intensidade máxima da corrente de um relâmpago nuvem-solo, através da medida do campo magnético residual em rochas basálticas próximas ao local de incidência do relâmpago. Finalmente em 1889, H. H. Hoffert identificou descargas de retorno individuais em um relâmpago no solo usando uma câmera fotográfica primitiva e, J. Elster e H. F. Geitel descobriram que a radioatividade está presente na Atmosfera, com isto estabelecendo uma explicação para a presença de íons na Atmosfera (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

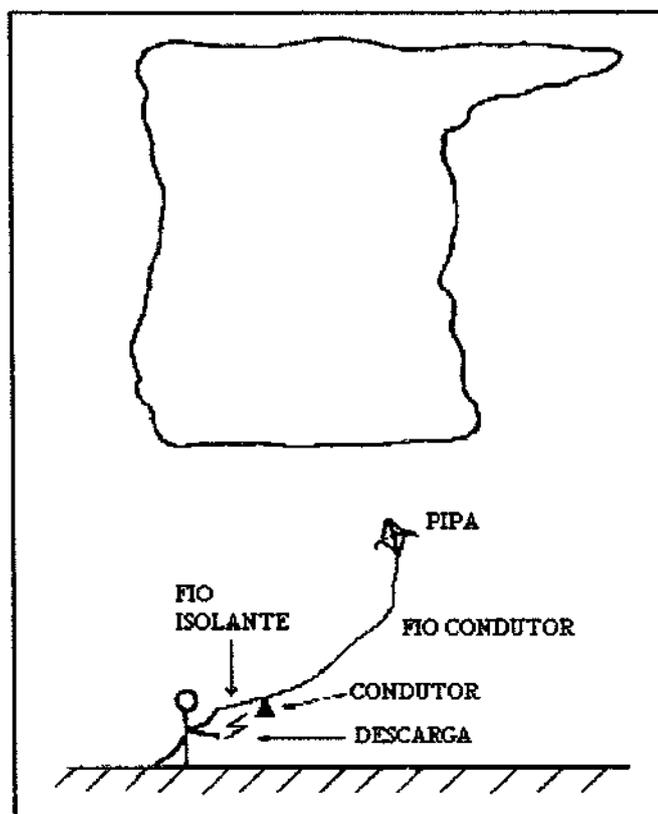


Figura 2 – 2º Experimento realizado por Franklin

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

As próximas descobertas sobre a eletrificação da Atmosfera só surgiram após o desenvolvimento de câmeras fotográficas mais aperfeiçoadas e instrumentos para medir a radiação eletromagnética no século 20. As leis físicas básicas para explicar tais



Relatório Final de Atividades 2004

descobertas são descritas por um conjunto de equações – Equações de Maxwell, enunciadas por J. C. Maxwell em 1865.

5.1.2. Histórico dos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera

Esses fenômenos já foram observados a muitas décadas e desde o século passado já se tinha relatos literários a seu respeito, considerados até aquele momento como “relâmpagos não usuais” observados acima das nuvens de tempestades noturnas (Tavares, 1999). Porém, apesar dos seus relatos existirem a tanto tempo, os *sprites* foram ignorados até a última década pela comunidade científica, em virtude da sua subjetividade e falta de vocabulário para a sua descrição.

Apenas em 1989 é que começou a haver um maior interesse por estes fenômenos, sendo que as primeiras imagens desses fenômenos foram obtidas durante as 4ª e 6ª missões do ônibus espacial STS-2, onde foi realizado o Experimento de Investigação Ótica Diurna/Noturna de Relâmpagos, onde foram feitas fotografias e observações. Após esta, se realizou outro experimento chamado de Experimento de relâmpagos em Mesoescala (MLE), com câmeras de vídeo monocromáticas e de alta sensibilidade, registrando as atividades noturnas dos relâmpagos (Tavares, 1999). A partir dos exemplos obtidos com os MLE estabeleceu-se que a seqüência de eventos visíveis que originam um *sprite* tem início com uma descarga elétrica na nuvem de tempestade. Após intervalos de $\frac{1}{4}$ de segundo a $\frac{1}{2}$ segundo ocorria um aumento da intensidade luminosa da nuvem e concomitantemente o aparecimento do *sprite*. As fitas gravadas durante o MLE foram as primeiras evidências da ocorrência desses fenômenos na Austrália, África, no sul do pacífico e na América do Sul.

Devido a sua pequena duração (alguns milissegundos - ms), tornava-se impossível observá-los na sua velocidade normal, sendo, pois reproduzidos em baixa velocidade nas fitas de vídeo. Em 1990, no Encontro de Outono da União Americana de Geofísica, foi apresentado o primeiro documento em vídeo de um *sprite* gravado do ônibus espacial.



Relatório Final de Atividades 2004

A partir daí, inúmeros documentos e imagens em vídeo foram feitas, seja a partir de ônibus espaciais ou por telescópios no alto de montanhas apontando na direção das tempestades centenas de quilômetros distantes, demonstrando tratar-se de um fenômeno global, ocorrendo em todos os continentes. Além dos *sprites*, outros fenômenos luminosos de alta Atmosfera foram identificados ao longo dos anos, distintos em suas características, como os *blue jats*, *precursores* e *elves*, que passaram também a ser estudados e analisados.

Com o crescente interesse da comunidade científica por estes fenômenos, passou-se a fazer inúmeras campanhas em aviões ou com balões estratosféricos para adquirir imagens desses fenômenos, possibilitando assim um estudo mais detalhado dos mesmos. Essas campanhas ocorrem atualmente em diversos países, sendo que o Brasil está incluído nesses estudos e que possivelmente será realizada uma campanha no Rio Grande do Sul durante o ano de 2004/2005.

5.2. ASPECTOS TEÓRICOS

Os *sprites*, assim como os *blue jats*, *elves* e *Precursores* ou *Precursores Azuis*, podem ser considerados como fenômenos luminosos de alta Atmosfera, mais especificamente a Estratosfera, Mesosfera e ionosfera, que possuem relação íntima com as descargas elétricas e as tempestades. Assim, apresentam relação íntima com o Campo Elétrico Atmosférico Global, completando o circuito com as tempestades e a Atmosfera de tempo bom (*fair-weather atmosphere*). Todos esses condicionantes, ou seja, as tempestades, o Campo Elétrico Global, os raios, a eletrificação das nuvens, serão explicados separadamente adiante.

5.2.1 Campo Elétrico Atmosférico Global e Eletricidade Atmosférica

Para Tavares (1999, p. 33), “O sistema Terra-Ionosfera pode ser considerado um capacitor de esferas condutoras concêntricas, separadas pelo ar, um meio levemente



Relatório Final de Atividades 2004

condutor”. Sabe-se hoje que entre 1 a 2 mil tempestades estão ocorrendo ao redor do mundo a todo o momento, sendo elas como uma espécie de gerador de cargas, mantendo a diferença de potencial entre a superfície da terra e a ionosfera, compensando a corrente vertical de tempo bom e possibilitando a existência do campo elétrico atmosférico. Assim, os fenômenos elétricos associados às tempestades correspondem a um mecanismo de carregamento da Atmosfera em relação à Terra, e esse carregamento é da ordem de milhões de Volts. O campo elétrico de tempo bom é tipicamente da ordem de 100 a 300 V/m na superfície, tendo o mesmo inúmeras variações causadas por diversos fatores (Rycroft *et al*, 2000). Essas variações são da ordem de horas, dias ou até sazonais.

O campo elétrico de tempo bom ainda varia de acordo com a resistência entre a ionosfera e o solo. A condutividade da Atmosfera de tempo bom é finita e, próximo a superfície, é da ordem de 10^{-14} mho/m, aumentando exponencialmente com a altitude até 60 Km, em uma escala de 7 Km (Rycroft *et al*, 2000). Nessa região, os principais responsáveis pela condutividade são pequenos íons positivos e negativos, que são produzidos primariamente por raios cósmicos. Próximo a superfície, esta condutividade é grande o suficiente para dissipar qualquer campo entre 5 e 40 minutos, isto dependendo de diversos outros aspectos, como por exemplo da quantidade de poluentes existentes no ar. Dessa forma, o campo elétrico precisa ser mantido por uma fonte de corrente contínua que seria representada pelos relâmpagos.

Acima dos 60 Km, elétrons livres tornam-se mais importantes no carregamento de cargas e sua alta mobilidade aumenta abruptamente a condutividade por toda a Mesosfera. Acima dos 80 Km, a condutividade torna-se anisotrópica devido à influência do campo geomagnético, e ocorrem variações diurnas devido aos processos de fotoionização solar (Rycroft *et al*, 2000).

Considerando dessa forma o campo elétrico global, temos correntes horizontais fluindo livremente da ionosfera para a superfície terrestre durante a Atmosfera de tempo bom. Durante as tempestades, correntes ascendentes saem do topo das tempestades em

Relatório Final de Atividades 2004

direção à ionosfera e também da terra para as nuvens de tempestades, fechando assim o circuito. O Campo Elétrico Atmosférico Global pode ser visto a partir da Figura 3.

No entanto, ocorrem variações constantes na intensidade do campo elétrico, mostrando-se o mesmo instável e dependente de diversos elementos e fatores, entre os quais se podem considerar o ciclo solar, que atinge seu pico a cada 11 anos e que apresenta influência na ionização e formação de elétrons livres, além de variações na temperatura da Troposfera, facilitando a formação de tempestades. Além disso, deve-se considerar dentro da influência cósmica e solar a latitude, visto que a influência solar no campo geomagnético e elétrico se diferencia entre médias latitudes e regiões polares, dependendo da intensidade das tempestades magnéticas (Rycroft *et al*, 2000).

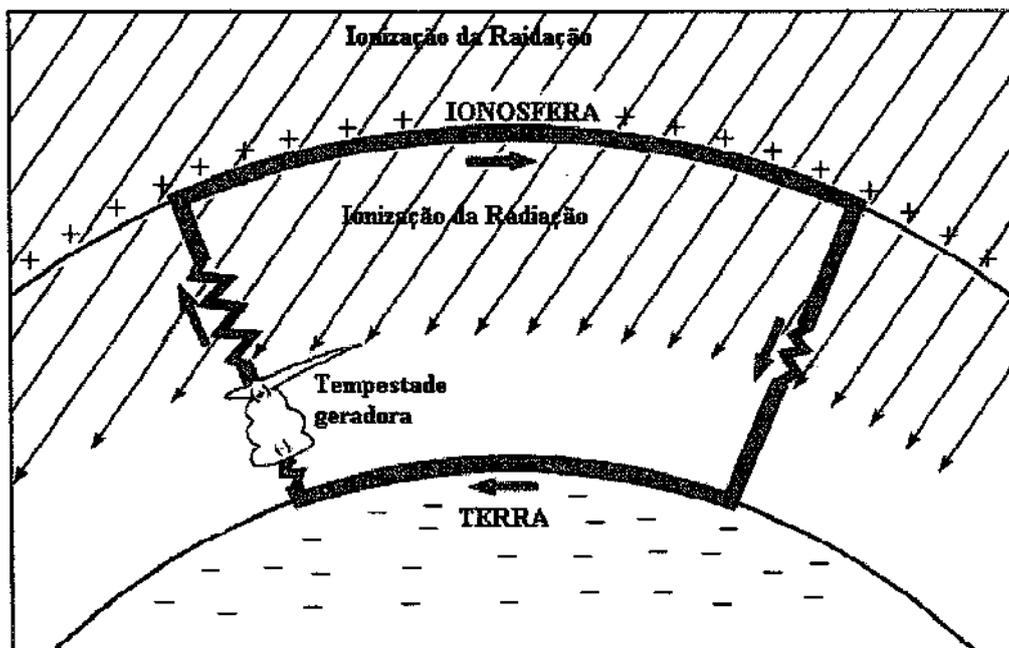


Figura 3 - Modelo simplificado do Campo Elétrico Atmosférico Global

Fonte: adaptado de Rycroft *et al* (2000)

Outro aspecto a ser considerado, porém com relação direta aos processos de eletrificação das nuvens, é a variação de aerossóis e de poluentes na Atmosfera, o que aumenta o número de núcleos de condensação dentro da nuvem, levando a formação de gotas menores e leves, que vão sofrer a ação de correntes ascendentes e que permitem um aumento no número de descargas e com pouca chuva.



5.2.2. Camadas Atmosféricas

De acordo com as suas diferentes características, como temperatura, densidade eletrônica e quanto a sua composição em geral, a Atmosfera pode ser dividida de diferentes formas, cada uma seguindo determinados critérios.

Quanto à temperatura, a Atmosfera se divide em quatro camadas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera.

A Troposfera é a primeira camada e é a mais próxima da superfície, na qual a temperatura tem uma função decrescente com a altitude, com um decréscimo médio de $6,5^{\circ}$ C por km, estendendo-se até a Tropopausa: a região ou camada limite entre a Troposfera e a Estratosfera, caracterizada pelas condições de inversão de temperatura, o que limita a convecção e outras atividades do tempo atmosférico. Além disso, é a região onde a temperatura atinge um mínimo, em torno dos 12 km, de onde passa a aumentar com a altitude. A altitude da Tropopausa varia com a latitude, da mesma forma que toda a Atmosfera global, sendo da ordem de 8 km nos pólos e 16 km no Equador (Tavares, 1999).

A Troposfera contém aproximadamente cerca de 75 % da massa gasosa total da Atmosfera e virtualmente a totalidade do vapor d'água e de aerossóis, sendo que a maior parte dos fenômenos, relacionados com a dinâmica de formação de nuvens e ocorrência de precipitação, ocorrem na Troposfera, sendo descrita como a camada que estabelece as condições do tempo (Ayoade, 1998). A Troposfera pode ainda ser dividida em três camadas com características distintas: a camada laminar, a camada de atrito e a Atmosfera livre.

A segunda camada é representada pela Estratosfera, na qual a temperatura aumenta com a altitude, mantendo um gradiente positivo de temperatura. Isto ocorre especialmente pelo fato de a densidade do ar ser muito menor, onde até mesmo uma absorção pequena de radiação solar pelos constituintes, no caso o ozônio, produz um grande aumento de temperatura. Esta camada está limitada pela Estratopausa, em torno



Relatório Final de Atividades 2004

dos 50 km Na Estratosfera, a temperatura atinge um máximo devido à absorção direta da radiação ultravioleta pelo ozônio e vapor d'água. A concentração máxima de ozônio ocorre em torno dos 22 quilômetros acima da superfície terrestre (Ayoade, 1998). A Estratosfera e a Troposfera constituem a Atmosfera inferior.

Já na terceira camada, denominada Mesosfera, a temperatura volta a decrescer com a altitude, mantendo assim, um gradiente negativo. Essa temperatura atinge um mínimo na Mesopausa, em torno de 85 – 95 Km, com temperaturas da ordem de -100° C (Tavares, 1999). A pressão torna-se muito baixa, e diminui de 1 mb na base da Mesosfera – em torno de 50 Km – a 0,01 mb na Mesopausa.

A quarta camada é denominada de Termosfera, onde o aquecimento causado pela absorção da radiação ultravioleta do sol pelos átomos de oxigênio e moléculas de hidrogênio garante um gradiente positivo de temperatura até o limite denominado de temperatura exosférica, estimada em torno de 730° a 1230° C, dependendo para tal da atividade solar (Tavares, 1999).

Quanto à composição, a Atmosfera é dividida em duas regiões ou camadas: a Homosfera e a Heterosfera. A primeira caracteriza-se por ser composta basicamente por O_2 e N_2 – respectivamente 20% e 80 % - com uma pequena variação do peso molecular com a altitude e estendendo-se até cerca de 110 km Já na Heterosfera os peso molecular do ar varia com a altitude e os gases separam-se sob efeito da gravidade, resultando em composições. O limite entre essas regiões denomina-se Turbopausa (Tavares, 1999).

Já quanto à composição eletrônica, ou seja, dos íons e da condutividade, a Atmosfera é dividida em Atmosfera inferior, correspondendo a Troposfera; a média Atmosfera, correspondente a Estratosfera e Mesosfera; e a Atmosfera superior, correspondente a Termosfera.

Uma melhor representação das camadas da Atmosfera pode ser observada a partir da Figura 4, que inclui desde a composição pela temperatura, quanto à divisão pela composição eletrônica.

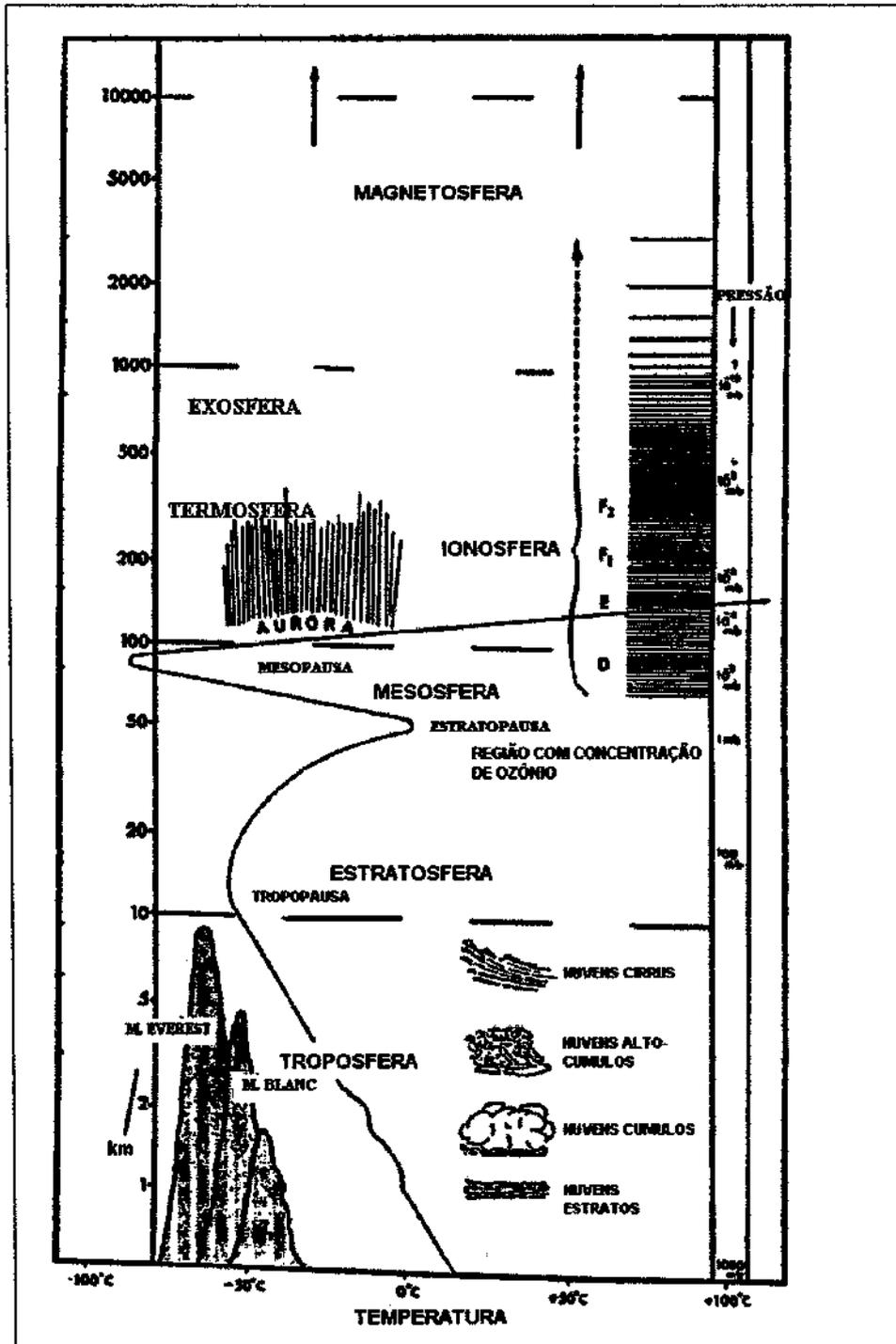


Figura 4 - Camadas da Atmosfera terrestre
Fonte: adaptado de Gobbi, (1997) *apud* Tavares (1999)



Relatório Final de Atividades 2004

A baixa e média Atmosfera – também chamada de Atmosfera neutra – são fracamente condutoras devido a baixa concentração de íons, criados especialmente por substâncias radioativas no solo e no ar, até 1 km de altitude. Acima desta altura predomina a influência dos raios cósmicos e da atividade solar (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Diferentemente da Atmosfera inferior e da média Atmosfera, na Atmosfera superior existem, além dos íons positivos e negativos uma grande quantidade de elétrons livres gerados pelo processo de fotoionização. A Atmosfera ali se torna um condutor razoável, formando a Ionosfera, situada entre 60 e 1000 km. Ela ainda é subdividida em três regiões: D, E, F, com densidades eletrônicas crescentes. A região D vai de aproximadamente 60 a 90 km, a região E de 90 a 150 km e acima ainda a região F com suas subdivisões (Tavares, 1999). Devido a grande quantidade de carga existente na Ionosfera, o excesso de cargas positivas e negativas não é levado em conta, de modo que a mesma seja considerada neutra.

Acima ainda da Ionosfera encontramos a Magnetosfera, onde a dinâmica das partículas – íons e elétrons – é estabelecida pelo campo magnético terrestre. Essas partículas são originárias da ionosfera e do vento solar, que atinge a Atmosfera na Magnetopausa – o limite superior da Magnetosfera. Na parte interna da Magnetosfera, as partículas carregadas são aprisionadas pelo campo magnético formando cinturões de radiação em torno da Terra (Pinto Jr. e Pinto, 2000). A Magnetosfera é dividida ainda em Magnetosfera Externa, onde as linhas de campo magnéticas são abertas e a Magnetosfera Interna, onde as linhas de campo são fechadas (Tavares, 1999).

5.2.3. Formação de Tempestades

A principal fonte de energia pela qual a terra mantém a sua dinâmica é o sol. E a partir da energia irradiada pelo mesmo é que se originam todos os processos físicos da Atmosfera. Entre esses processos estão a evaporação, o aquecimento, a formação dos ventos e muitos outros processos. A formação de regiões mais quentes próximo ao equador devido a maior radiação (consequência da forma da Terra e da inclinação do eixo terrestre) possibilita a formação de regiões distintas quanto as suas características



Relatório Final de Atividades 2004

físicas ao longo do globo, tanto em virtude da latitude, quanto da continentalidade ou maritimidade, como da altitude. Com o aquecimento superficial, considerando a distinção entre o a massa continental e oceânica, passa a haver irradiação de calor da terra, o que irá causar o aquecimento do ar e, portanto, a expansão e diminuição da sua densidade, levando a sua ascensão e a diminuição da pressão.

Concomitantemente a essas áreas mais quentes, nas áreas mais frias irá ocorrer o processo inverso, com o aumento da pressão. Essas regiões de distintas pressões é que são responsáveis pela formação dos ventos, bem como das grandes massas de ar. Essas massas de ar, ao entrar em contato, criam as chamadas frentes, causadoras, às vezes, de grandes tempestades.

Além da frontogênese, deve-se considerar a ciclogênese como outra grande geradora de relâmpagos, visto que a mesma possibilita a formação de grandes sistemas convectivos e de grandes tempestades, sendo que pesquisas têm provado que as maiores taxas de descargas nuvem-terra são associadas à ciclogênese local, em média, quatro vezes maior do que as taxas de raios associadas às frentes frias (Abdoulaev *et al*, 2001). Quando se tratar de descargas elétricas, voltam-se os interesses em grandes áreas de convecção, que ocorrem especialmente na região intertropical, ou seja, as regiões que recebem um maior aquecimento. A região em questão é a chamada Zona de Convergência Intertropical, considerada a região do mundo onde ocorre o maior número de descargas elétricas e onde se formam grande quantidade de tempestades, com a formação de grandes nuvens do tipo *Cumulunimbus*. Embora sejam as mais comuns, outros tipos de nuvens podem produzir relâmpagos, como as nuvens *Cumulus Congestus*, *Stratocumulus*, *Altostratus* e *Nimbostratus* (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Dentre as tempestades ainda deve-se levar em consideração, embora ocorram em pequenas quantidades, as tempestades severas, ou seja, que produzam ou granizo com diâmetro igual ou superior a 2 cm, ventos de ao menos 100 km/h ou tornados. Essas tempestades são grandes produtoras de relâmpagos.

As nuvens de tempestade caracterizam-se por apresentar grande extensão vertical (tamanho), fortes correntes verticais de ar e gotículas de água super-resfriada ou



Relatório Final de Atividades 2004

partículas de gelo. Isso ocorre devido a grande altitude que essas nuvens adquirem e pelo fato de que na Troposfera a temperatura decai com a altitude, atingindo assim regiões muito frias.

As tempestades resultam da união de vários fatores e elementos, os quais formam os fenômenos meteorológicos e que dependem necessariamente da temperatura e da umidade, que constituem os elementos fundamentais na formação das nuvens e também possíveis tempestades. Esta temperatura, que decai com a altitude a uma média de $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilometro e atingindo valores mínimos na Tropopausa, é importante na convecção do ar, bem como na condensação do vapor de água.

Já o vapor de água, ou mais especificamente a umidade, depende dos seus valores percentuais ou a umidade relativa do ar, que pode não conter a quantidade necessária de umidade em um dado momento capaz de levar a formação de nuvens, mesmo que a temperatura esteja favorável à ascensão do ar; e depende também das partículas higroscópicas, poeira e aerossóis, que se tornam núcleos de condensação, formando as gotas d'água. À medida que as gotas assumem um determinado tamanho, que não é mais suportado pela ação das correntes ascendentes de ar, elas caem na forma de chuva. Essas nuvens podem crescer na forma de tempestades isoladas ou como tempestades organizadas, sendo as segundas causadoras de grandes tempestades, com ventos e chuvas fortes. As Figuras 5 e 6 mostram o desenvolvimento de uma tempestade isolada e uma tempestade organizada.

Considerando os fenômenos transientes de alta Atmosfera, observa-se que a maioria dos sprites, jatos azuis e outros fenômenos ocorrem em associação aos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), e mais especificamente sobre os Complexos convectivos de Mesoescala (CCM). Os SCMs são sistemas formados por uma ou mais nuvens de tempestade individuais, identificados por uma área estratiforme desde a Troposfera média até a região da bigorna de algumas centenas de quilômetros quadrados, ocorrendo em especialmente à noite, com duração de 6 a 12 horas e podendo perdurar dias (Tavares, 1999).

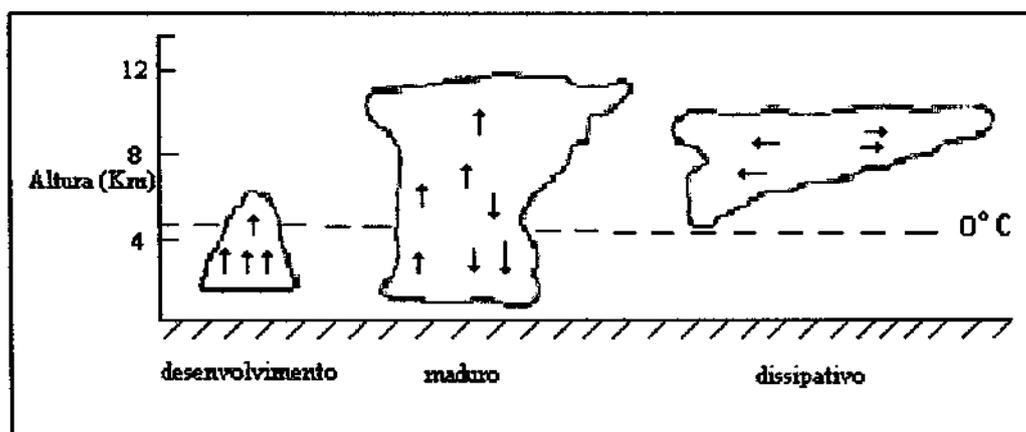


Figura 5 – Desenvolvimento de uma tempestade isolada

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

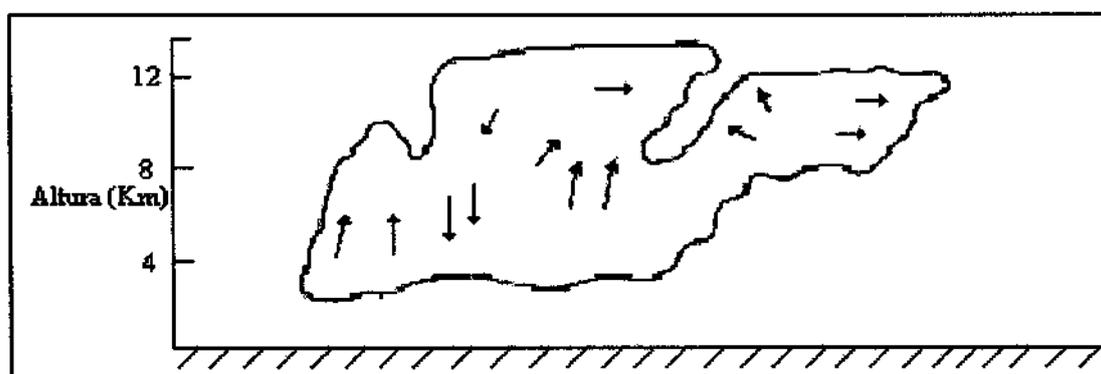


Figura 6 – Desenvolvimento de uma tempestade organizada

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

Os sistemas convectivos de mesoescala são classificados sob ordem temporal e espacial em três classes principais: microescala, mesoescala e macroescala, tendo a mesoescala proporções que variam de 2 a 2.000 km e duração de horas a dias. A microescala e a macroescala são, respectivamente, com proporções inferiores e superiores a mesoescala. Ainda dentro da mesoescala encontramos subdivisões no que diz respeito a suas características de tamanho e tempo. Estes complexos convectivos, bem como as demais tempestades organizadas, apresentam distinções com relação ao tamanho e tempo de duração, o que pode ser observado pela Figura 7.

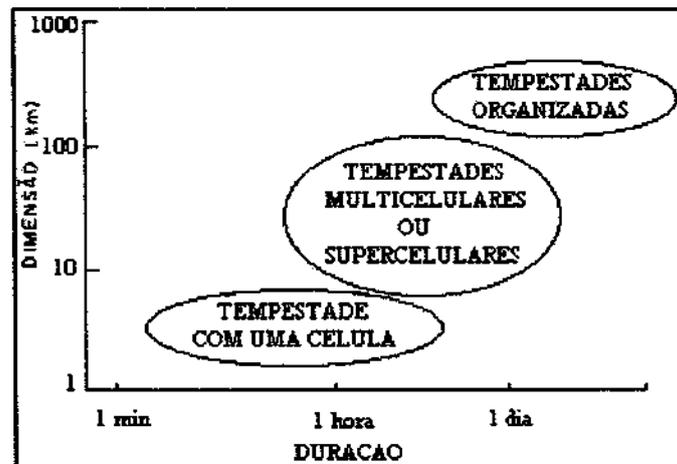


Figura 7 – Diferentes sistemas de tempestade

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

Dessa maneira, as tempestades unicelulares possuem uma menor duração e dimensão, apesar de causarem chuvas extremamente fortes. As tempestades multicelulares e as tempestades organizadas apresentam nesse sentido maior influência, durando de horas a dias, apresentando nesse período fortes chuvas e muitas descargas.

Já com respeito aos CCMs, os mesmos tratam-se de um tipo específico de SCM, que é dividido ainda em função das suas características físicas, a organização e o local de ocorrência, variando de tipos lineares a tipos circulares e para os trópicos e para médias latitudes. Através de imagens de satélite no infravermelho observou-se que a área com temperatura igual ou inferior a 32°C é de aproximadamente 700 km^2 . Portanto esses sistemas são de uma escala grande comparada às tempestades individuais.

Vendavais, chuvas torrenciais, inundações, precipitação de granizo e tornados em médias latitudes estão geralmente associados à CCM. Esses sistemas são comuns nas Altas Planícies americanas, nas regiões tropicais oceânicas e continentais, em especial na ZCIT, e sobre latitudes médias da América do Sul (Tavares, 1999), considerando aí regiões especiais como é o caso do norte da Argentina, sul do Paraguai e oeste do Brasil, onde esses sistemas ocorrem com frequência, ocasionando ao mesmo tempo uma grande quantidade de relâmpagos.

Acredita-se que no Brasil haja uma incidência de mais de 100 mil relâmpagos por ano (Pinto Jr. e Pinto, 1996), dos quais grande parte ocorre próximo a região



Relatório Final de Atividades 2004

equatorial. Além da zona de convergência intertropical, muitas tempestades são resultado do aquecimento em regiões próximas aos trópicos, como a região norte da Argentina, o extremo sul do Paraguai e noroeste do RS. Consideram-se como as principais regiões de ocorrência de relâmpagos no mundo a região central da África, o sul da Ásia e a região sul do México no hemisfério norte e o Brasil, especialmente na região amazônica, o sul da África, a ilha de Madagascar, a Indonésia e o norte da Austrália no hemisfério sul (Pinto Jr. e Pinto, 1996).

5.2.4. Eletrificação das nuvens

Existem várias teorias para explicar o processo de eletrificação das nuvens e que foram evoluindo ao longo dos anos, à medida que novos métodos para investigar a estrutura das nuvens foram sendo feitos ao longo dos anos, mas ainda não se tem total certeza da forma e da estrutura elétrica da nuvem. Há de se considerar ainda a diferença entre a estrutura elétrica de tempestades isoladas e tempestades organizadas. Embora não se tenham muitas informações a respeito, acredita-se que a estrutura não apresenta grandes distinções.

Entre as teorias propostas atualmente as mais aceitas são relacionadas à gravidade e a temperatura, que correspondem respectivamente ao processo indutivo e ao processo termoelétrico de polarização de cargas (Tavares, 1999).

Com relação à gravidade destaca-se a teoria da eletrificação pela polarização das cargas nas gotas de chuva, com a polarização das cargas positivas na parte inferior e a carga negativa na parte superior das gotas maiores. As gotas menores e cristais de gelo, mais leves, são levados pelas correntes ascendentes para cima e ao se chocar com a extremidade inferior das gotas maiores e pedras de granizo, em movimento descendente, passam a deter carga positiva, criando um centro de carga positiva na parte superior da nuvem um centro de carga negativa na parte inferior da nuvem de tempestade (Figura 8).

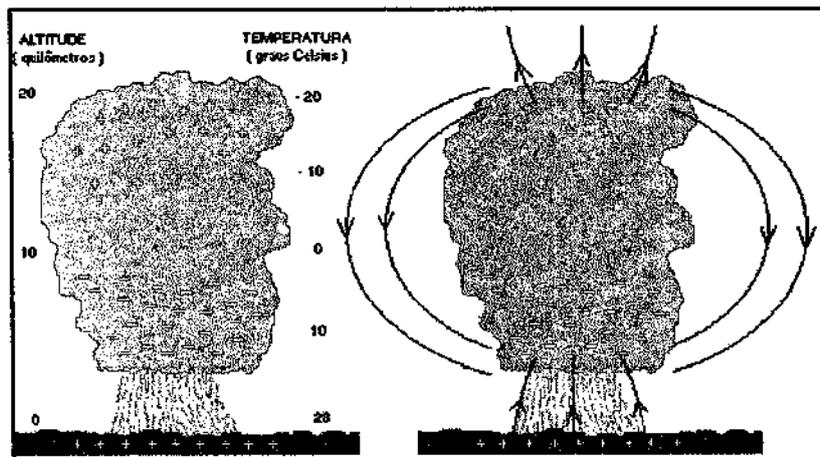
Relatório Final de Atividades 2004

Figura 8 -- Modelo de eletrificação bipolar e respectivos campos associados
Fonte: adaptado de: www.fisica.ufc.br/raios/cb.gif

Nesse sentido, modelos do final da década de 30 se caracterizam pela defesa da estrutura tripolar. Nesse processo, de acordo com a Teoria de Simpson – Simpson's Breaking-Drop Theory - existiria ainda, além dos centros positivo na parte superior da nuvem e negativo na parte inferior, outro centro de cargas positivas na extremidade inferior da nuvem formado na região de fortes correntes ascendentes, sendo que a chuva nesta região carregaria cargas positivas para o solo (Figura 9) (Lewis, 1949). Em 1940 foi incorporada ainda a este modelo a existência de camadas de blindagem em torno da nuvem, que seriam produzidas pelo aprisionamento de íons da Atmosfera às partículas da nuvem, e blindariam parcialmente a região externa das nuvens dos campos internos (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

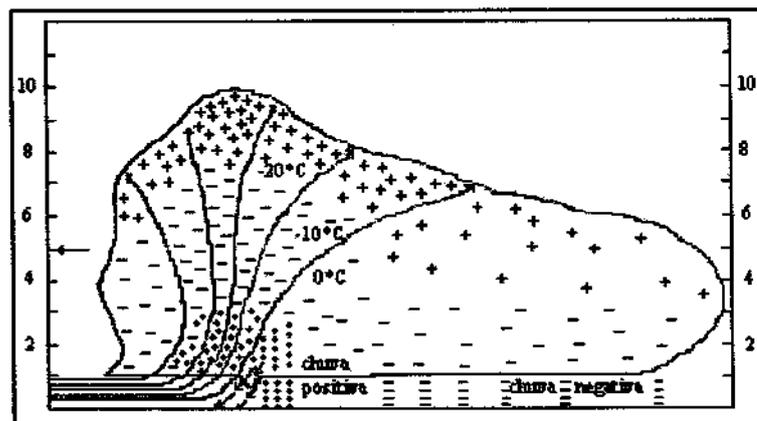


Figura 9 – Processo de Eletrificação de Nuvens
Fonte: adaptado de Lewis (1949).



Relatório Final de Atividades 2004

Acredita-se, porém, que existam muitos outros centros de carga menores na nuvem e que ela seja formada não de grandes centros, mas sim, de pequenos centros, considerando dessa forma tanto processos macrofísicos, ou seja, em grande escala, e processos microfísicos, em microescala (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

A outra teoria, relacionada à temperatura, proposta na década de 70, acredita que a formação dos centros de carga esteja relacionada temperatura de inversão de carga, tida em aproximadamente -15°C , gerando-se dessa forma os centros de cargas dentro das nuvens, onde as partículas pesadas ficarão com carga positiva e as leves com carga negativa. O valor da temperatura de inversão é compatível com o centro de cargas negativas da nuvem, onde, caso a temperatura for inferior à temperatura de inversão, as partículas maiores ficaram com carga negativa e as menores com carga positiva.

Dessa maneira, constitui-se um centro positivo formado por cristais de gelo na parte superior da nuvem, onde a temperatura é inferior à temperatura de inversão; um centro negativo formado por granizo e cristais de gelo na parte intermediária da nuvem, próximo a isoterma de inversão de cargas; e um pequeno centro positivo constituído por granizo na parte inferior da nuvem, onde a temperatura é superior a de inversão. (Tavares, 1999).

O modelo exposto anteriormente se constitui em um modelo tripolar, com três centros de cargas, um positivo na parte superior, um negativo no centro e um pequeno centro positivo na extremidade inferior, com a evolução para as camadas de blindagem e futuramente associando-se a processos termoeletrônicos, pela inversão de cargas.

Os processos de separação de cargas de forma indutiva e de forma termoeletrica são distintos. O primeiro considera que as cargas seriam polarizadas no granizo de forma que as cargas positivas ficariam na extremidade inferior e as cargas positivas na parte superior do granizo (Figura 10). Os cristais de gelo que, devido à ação da gravidade, assumem movimento ascendente pelas correntes de ar, se chocariam com a extremidade inferior do granizo, adquirindo carga positiva. Já a teoria do processo termoeletrico é tida pelo contato das partículas antes ou depois da temperatura de inversão de carga, em

Relatório Final de Atividades 2004

torno de -15°C , e que de acordo com ela, adquirem carga positiva ou negativa (Figura 11).

Além dos relâmpagos formados pelas nuvens de tempestade, existem outras formas de eles ocorrerem, como por exemplo, em tempestades de neve, tempestades de areia ou até em erupções vulcânicas. No caso das erupções vulcânicas e tempestades de areia, o processo de eletrificação ocorre principalmente pela fricção de partículas que são levadas pelas correntes de ar formadas durante esses fenômenos, processo semelhante ao das nuvens de tempestades (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

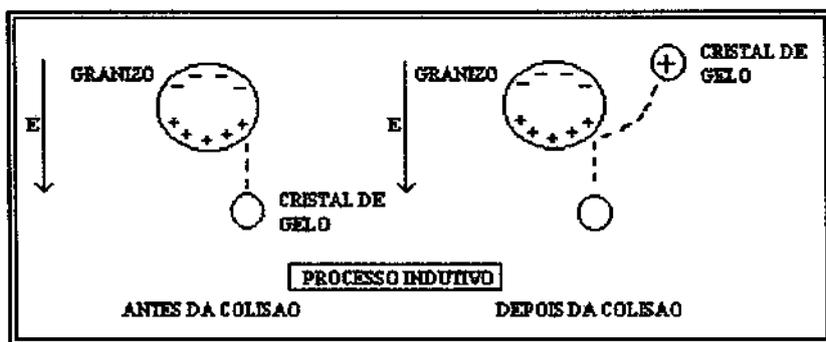


Figura 10 – processo indutivo de separação de cargas

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

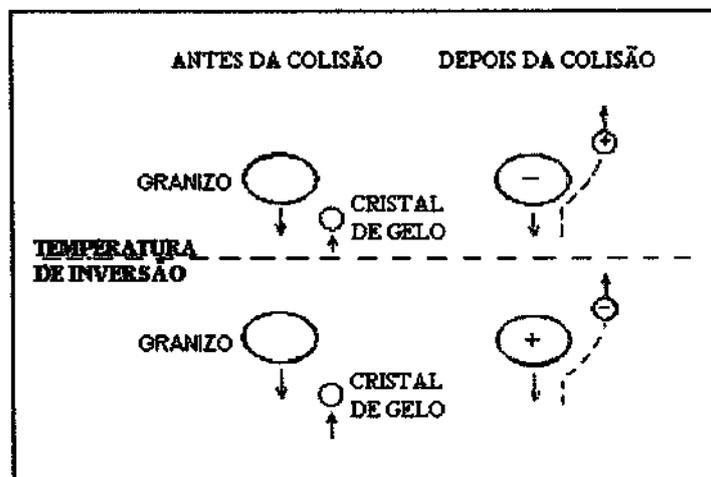


Figura 11 – Processo de Eletrificação Termoelétrica

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)



5.2.5. Tipos de Relâmpagos

Quando as cargas acumuladas nas nuvens atingem um valor estimado em torno de 3 milhões de volts por metro em superfície, ou seja, quando o campo elétrico excede a capacidade isolante do ar – rigidez dielétrica do ar – é que ocorre a descarga. Relâmpagos ainda podem ser gerados de forma artificial em explosões nucleares e por longos cabos condutores que são levados próximo às nuvens por foguetes ou aviões, sendo esta técnica largamente utilizada para estudar algumas características dos relâmpagos, pois permite predeterminar o instante e o local onde eles irão cair (Pinto Jr. & Pinto, 1996).

Registros indicam que os relâmpagos duram em torno de um décimo de segundo a dois segundos, embora maiores variações possam ser registradas. Nesse intervalo, a corrente sofre variações consideráveis, atingindo picos médios de até 30 mil amperes, sendo que foram registradas correntes superiores a 200 mil amperes – cerca de 1% dos casos. Como resultado, uma carga média de 20 coulombs é transferida ao longo do canal. O diâmetro do canal por onde flui a carga é da ordem de poucos centímetros com um comprimento médio de 3 km. A temperatura atinge valores de cerca de 40 mil graus Celsius, o que equivale a 5 vezes a temperatura na superfície do Sol, e a pressão atinge valores de 10 atmosferas, ou seja, dez vezes a pressão ao nível do mar. A pressão criada é, pois, tão grande que faz com que o ar se expanda com uma velocidade tão grande próximo ao canal, que o mesmo se choca com o ar envolvente, comprimindo-o e criando o estrondo ao qual chamamos de trovão. A energia em frequências emitidas por esta onda gira em torno de 100 hertz (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Quanto aos tipos de descargas, podemos ter diversos, dos quais se pode citar os relâmpagos **nuvem-solo e solo-nuvem**, que são os mais conhecidos devido às suas conseqüências devastadoras e, por vezes, drásticas à vida humana; os relâmpagos **intranuvem**, que ocorrem dentro das nuvens; os relâmpagos **internuvem**, que ocorrem entre as nuvens; os relâmpagos da **nuvem para o ar**; e os relâmpagos da **nuvem para**

Relatório Final de Atividades 2004

cima. A Figura 12 mostra os diversos tipos de descargas, bem como as cargas polarizadas durante o processo.

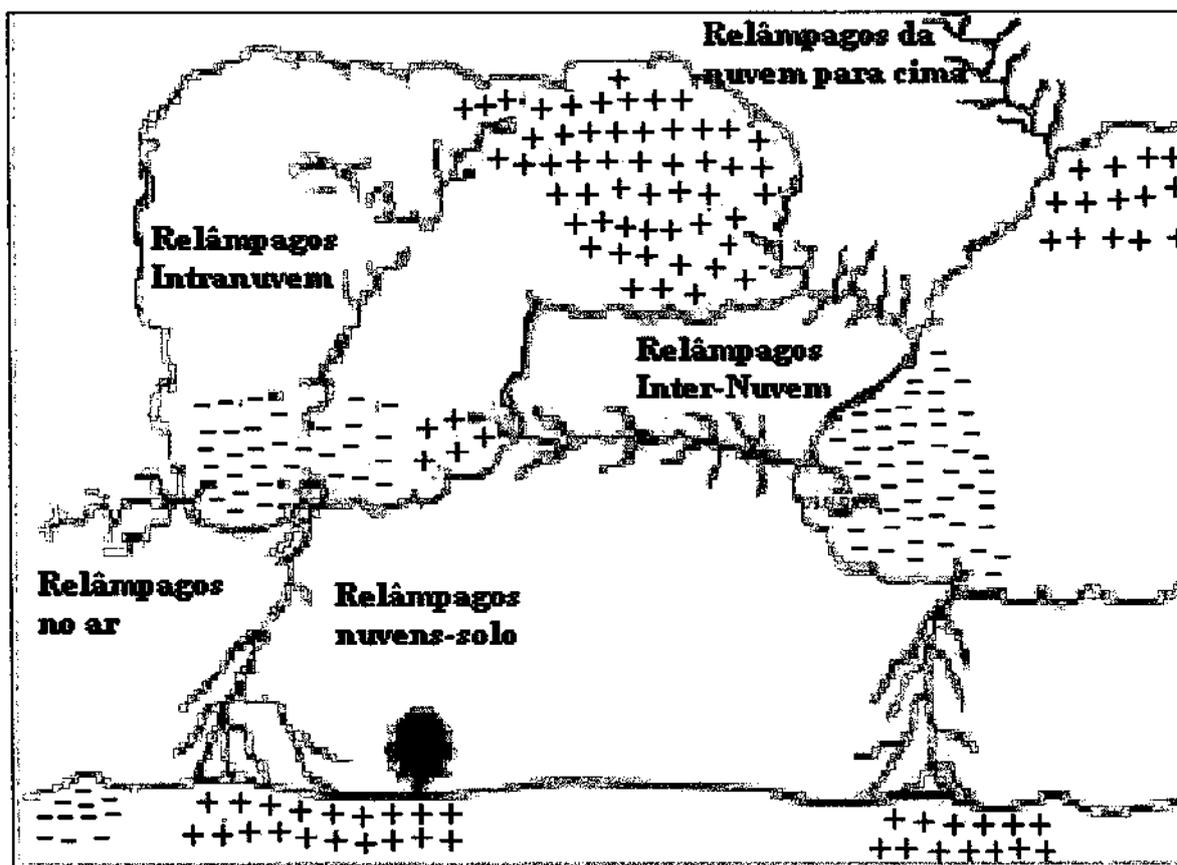


Figura 12 - Tipos de relâmpagos e cargas associadas
Fonte: adaptado de Tavares & Santiago (2002)

5.2.5.1. Relâmpagos Nuvem-Solo

Esse tipo de relâmpago é o mais estudado atualmente. Eles podem ser divididos em dois grupos, em função do sinal da carga transferida ao solo, podendo ser relâmpagos **nuvem-solo negativos** ou relâmpagos **nuvem-solo positivos**. Os primeiros transferem cargas negativas da nuvem para o solo e os segundos transferem cargas positivas da



Relatório Final de Atividades 2004

nuvem para o solo, o que equivale a dizer que eles transferem elétrons do solo para a nuvem.

A maior parte dos relâmpagos nuvem-solo que ocorrem são negativos – cerca de 90%. Eles duram em média cerca de um quarto de segundo, com variações de 0,1 a 2 segundos. Os relâmpagos nuvem-solo costumam apresentar ramificações de cima para baixo, fato que os diferencia dos outros tipos de relâmpagos, sendo que ao sair da nuvem costumam seguir um caminho tortuoso e com um grande número de pequenos segmentos (Pinto Jr. & Pinto, 2000).

Embora o número de relâmpagos nuvem solo positivos ocorra com uma frequência muito inferior a dos negativos, ou seja, cerca de 10 % do total apenas, os mesmos apresentam uma grande variação, sendo que em alguns casos podem até superar os relâmpagos N-S negativos. Isto ocorre devido a vários fatores, entre os quais se destacam a latitude, a estação do ano e as variações horizontais dos ventos com a altura.

Com relação à latitude e a estação do ano, considera-se a altitude da nuvem em relação ao solo, em função de que em baixas latitudes a altura da base da nuvem tende a ser mais alta, bem como durante o verão. Com relação aos ventos, quanto mais fortes forem os ventos na região de cargas positivas dentro da nuvem, maior será o deslocamento dessas em relação às cargas negativas, o que facilita a ocorrência de descargas positivas.

Outro fato relevante no que concerne a ocorrência de relâmpagos positivos é a existência de montanhas muito altas, o que faz com que as cargas negativas da nuvem fiquem em contato direto com o solo, facilitando a ocorrência de relâmpagos positivos. Considerando ainda a existência de um centro de cargas positivas na base da nuvem, quanto maior for a carga desse centro, maior a possibilidade de ocorrerem relâmpagos positivos.

Para que ocorra o relâmpago, é necessário que haja a quebra da rigidez dielétrica do ar, estimada em torno de 1.000.000 V/m. Porém, pesquisas recentes têm demonstrado que o campo elétrico das nuvens atinge máximos entre 100 e 400 kV/m. Esse fato pode ser explicado pela influência da radiação cósmica na produção de elétrons secundários



Relatório Final de Atividades 2004

ou pela polarização das gotículas de água pelo campo elétrico ambiente, o facilitando a quebra da rigidez (Pinto Jr.e Pinto, 2000).

Os relâmpagos nuvem-solo são formados por diversas etapas. A primeira etapa seria a quebra de rigidez preliminar. Após o início da descarga, os elétrons na região de cargas negativas são atraídos para a região de cargas positivas, movendo-se através do ar e criando um canal condutor. Ao final desse processo, uma fraca descarga, denominada de líder escalonado, se propaga em direção ao solo a uma velocidade em torno de 400 mil Km/h, ao longo de um canal com diâmetro de 1 a 10m, onde cargas negativas são depositadas, denominado canal do relâmpago. O líder escalonado segue assim em etapas, de forma tortuosa, em busca de um caminho mais fácil para a formação do canal, sendo que ao final de cada etapa há uma pausa de cerca 50 μ s. Cada etapa percorre cerca de 30 a 100 m com duração média de 20 ms. O líder escalonado transporta ao todo 10 ou mais coulombs, com uma corrente média de algumas centenas de amperes, com pulsos de ao menos 1 kA em cada etapa. Pela influência das cargas ao redor do canal, o líder desenvolve-se ao longo de vários caminhos, formando ramificações. No entanto, geralmente apenas um ramo atinge o solo. Recentemente, pesquisas têm sugerido que ocorra um segundo líder indo em direção oposta dentro da nuvem e levando cargas positivas, que é chamado de líder bidirecional (Pinto Jr.e Pinto, 2000).

Quando o líder escalonado se aproxima da superfície, a pouco mais de cem metros, produz-se um intenso campo elétrico entre o líder e o solo, que causam a quebra da rigidez do ar, fazendo com que saiam do solo cargas positivas, as descargas conectantes, geralmente saindo de objetos sobre o solo. A distância de atração varia de acordo com a intensidade do relâmpago, variando de 10 a 200 m.

No instante em que a descarga conectante se encontra com o líder escalonado, as cargas começam a se mover para o solo e um clarão se propaga ao longo do canal para cima a uma velocidade de 400.000.000 Km/h. Esta descarga é chamada de descarga de retorno. A parte visível do canal é em geral próxima da vertical, sendo que no interior da nuvem é normalmente horizontal. As cargas depositadas ao redor, no topo e dentro do canal movem-se para baixo ao longo de uma região de poucos centímetros, com um pico



Relatório Final de Atividades 2004

de corrente médio no solo de 30 a 40 kA, sendo que já foram estimados valores de até 400 kA a partir de medidas de radiação.

Se depois da descarga de retorno o relâmpago terminar, ele é denominado de relâmpago simples – cerca de 20 % dos casos. Porém na maioria dos casos, após uma pausa de 1 a 100 ms uma nova descarga de retorno ocorre, sendo que ainda outras pausas e outras descargas de retorno podem ocorrer, denominadas de descargas de retorno subseqüentes. Esse tipo de relâmpago é denominado de relâmpago múltiplo. Pelo fato de o canal do relâmpago já estar ionizado, as descargas de retorno subseqüentes tendem a atingir o pico de corrente mais rapidamente.

Em média, um relâmpago nuvem-solo negativo apresenta de 3 a 6 descargas de retorno. No entanto já foram registradas mais de 40 descargas de retorno em um único relâmpago. Para que essas descargas ocorram, é necessário que outras cargas dentro da nuvem sejam transportadas para a região em que se iniciou o líder escalonado, sendo essas regiões estimadas a distancias de alguns quilômetros. A descarga que abrirá caminho para a nova descarga de retorno é chamada de líder contínuo, sendo que esse passa através do canal já ionizado, não apresentando ramificações. Ele também apresenta uma velocidade bem maior que a do líder escalonado.

Há, pois ainda a ocorrência dos relâmpagos bifurcados, quando o líder contínuo segue um caminho distinto do líder escalonado. O processo que segue é semelhante ao do líder escalonado, com a descarga conectante, e com uma nova descarga de retorno subseqüente. Considerando que a intensidade de descarga é geralmente menor que a primeira descarga de retorno, o campo eletromagnético induzido é geralmente inferior e com menor duração (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Nos relâmpagos nuvem-solo negativos múltiplos, uma ou mais descargas de retorno subseqüentes são seguidas por correntes entre 100A e 1000 A durante alguns milissegundos a centenas de milissegundos, que é denominada de corrente contínua.

Em geral um relâmpago nuvem-solo negativo transfere ao solo em média 10 C de carga negativa, podendo em alguns casos chegar a centenas de coulombs, transferidas em intervalos de até 2 segundos. A radiação na faixa do visível emitida de uma região



Relatório Final de Atividades 2004

com um diâmetro de até um metro ao redor do canal seria suficiente para iluminar uma cidade de 3 mil habitantes por cerca de 1 minuto (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Já com relação aos relâmpagos nuvem-solo positivos (Figura 13), eles seguem basicamente as mesmas etapas dos negativos, com algumas diferenças. A luminosidade do líder é menor que a de um relâmpago negativo, saindo de uma região de cargas positivas dentro da nuvem, sem apresentar etapas, mas sim uma luminosidade contínua com variações periódicas de intensidade, além de na maioria das vezes apresentar somente uma descarga de retorno.

Medidas indicam que a intensidade de corrente dos relâmpagos nuvem-solo positivos é levemente maior que a dos relâmpagos nuvem-solo negativos, sendo que os valores máximos registrados foram em torno de 200 kA e os máximos estimados superam 400 kA. Da mesma forma, a taxa de carga positiva transferida ao solo – ou carga negativa transferida para a nuvem – e a energia é normalmente maior neste tipo de relâmpago. Isto se deve ao fato de eles transferirem carga contínua de longa duração com maior frequência. Este fato faz com que os mesmos sejam mais destrutivos que os relâmpagos negativos, e por isso chamados de relâmpagos quentes. Em sistemas convectivos de mesoescala eles costumam apresentar grandes ramificações horizontais, denominados então de relâmpagos aranhas, que geralmente ocorrem no final das tempestades, sendo confundidos por descargas para o ar (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

5.2.5.2. Relâmpagos solo-nuvem

Este tipo de relâmpago costuma ocorrer a partir de pontos elevados no solo, como prédios, torres, etc. Eles podem ser tanto positivos como negativos, dependendo da carga contida na região da nuvem para a qual se dirigem ou da polaridade da carga transferida ao solo. Diferentemente dos relâmpagos nuvem-solo, esses relâmpagos apresentam geralmente menos descargas de retorno, ou seja, até três descargas de retorno no caso dos que possuem polaridade negativa. No caso dos relâmpagos solo-nuvem positivos (Figura 13), esses apresentam geralmente carga contínua com pulsos

Relatório Final de Atividades 2004

sobrepostos, sem haver descargas de retorno. Esses relâmpagos iniciam-se por um líder escalonado negativo que parte do solo em direção à nuvem.

Acredita-se que grande parte deles ocorram após a ocorrência de um relâmpago intra-nuvem, que produz um campo elétrico intenso no solo capaz de quebrar a rigidez dielétrica do ar. A corrente desses é geralmente menor que a dos relâmpagos nuvem-solo. Por vezes, relâmpagos solo-nuvem podem dar origem a relâmpagos nuvem-solo, como uma espécie de descarga conectante, e que ao se encontrarem podem produzir picos de corrente mais intensos que os próprios nuvem-solo, sendo então denominados de relâmpagos mistos.

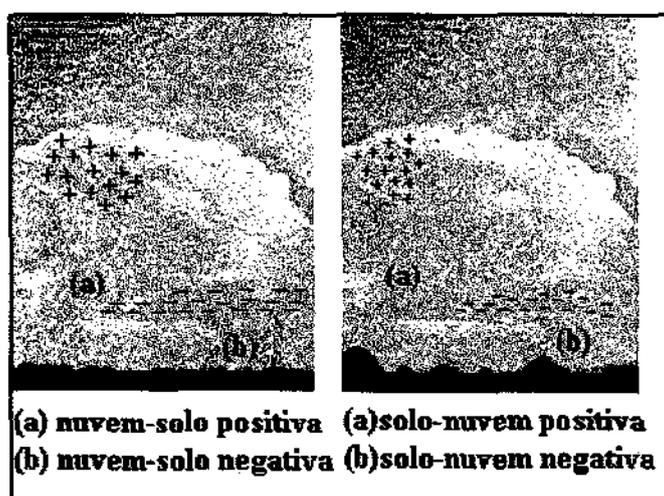


Figura 13 – Relâmpagos nuvem-solo e relâmpagos solo-nuvem

Fonte: adaptado de www.fotonline.com.br/novidades.htm

5.2.5.3. Relâmpagos Intra-nuvem

Esse tipo de relâmpago geralmente não é visto, caracterizando-se apenas por um clarão no céu, com exceção aos casos em que os mesmos saem das nuvens para depois retornarem, sendo confundidos por relâmpagos do tipo da nuvem para o ar ou entre nuvens. Em geral eles iniciam na região de cargas negativas com diversas ramificações horizontais, e propagando-se em direção a região de cargas positivas, com novas ramificações horizontais (Figura 14), portanto partindo da região de cargas negativas

Relatório Final de Atividades 2004

para a região de cargas positivas, transportando carga negativa, com correntes de poucos quiloampères. Além disso, eles não apresentam descargas de retorno.

Eles ainda, em alguns casos podem propagar-se da região de cargas positivas para baixo, sendo então denominados de relâmpagos intra-nuvem invertidos. Não é possível fazer distinção entre os relâmpagos intra-nuvem, entre nuvens e descargas para o ar por medidas de radiação, além de serem menos conhecidos, devido especialmente às dificuldades atuais em realizar medições que não sejam em solo.

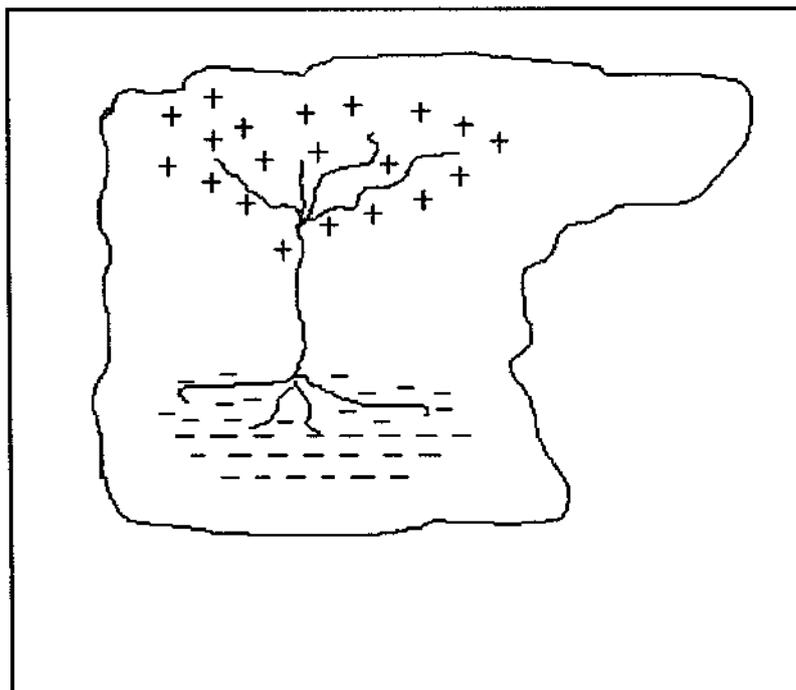


Figura 14 – Exemplo de relâmpago intra-nuvem

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

Esse tipo de relâmpago costuma ser o primeiro a ocorrer durante as tempestades, precedendo os nuvem-solo por vários minutos. O total de relâmpagos intra-nuvem pode ter variações de 3% a 100% durante as tempestades.

Entre este tipo de descarga ainda há que se considerar as chamadas descargas compactas, que durante tempestades severas, associadas a furacões, apresentam-se como descargas de pequena extensão, porém de intensidades comparadas às descargas nuvem-solo.

Relatório Final de Atividades 2004**5.2.6. Índice Ceráunico**

Até alguns anos atrás, em que não havia satélites nem sistemas de detecção de relâmpagos capazes de levantar o total de descargas que ocorrem em torno do mundo a todo o momento, usavam-se índices ceráunicos para determinar uma estimativa desse total. As primeiras observações desse tipo acredita-se que foram feitas nas décadas de 40 e 50. Essas observações baseiam-se nos dias de tempestades que ocorrem por ano em um dado local, elaborando-se então a distribuição global de relâmpagos em termos de número de relâmpagos por quilômetro quadrado ou a densidade de relâmpagos. Esses dias de tempestades são determinados quando um observador, em um dado local, registra a ocorrência de trovão. Então, a partir dos dias de tempestade por ano é possível determinar a densidade de relâmpagos por uma fórmula empírica obtida por estudos realizados em diversas partes do mundo (Pinto Jr. e Pinto, 2000).

Os mapas isoceráunicos são obtidos pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) e com base nas observações feitas em todo o mundo (Figura 15).

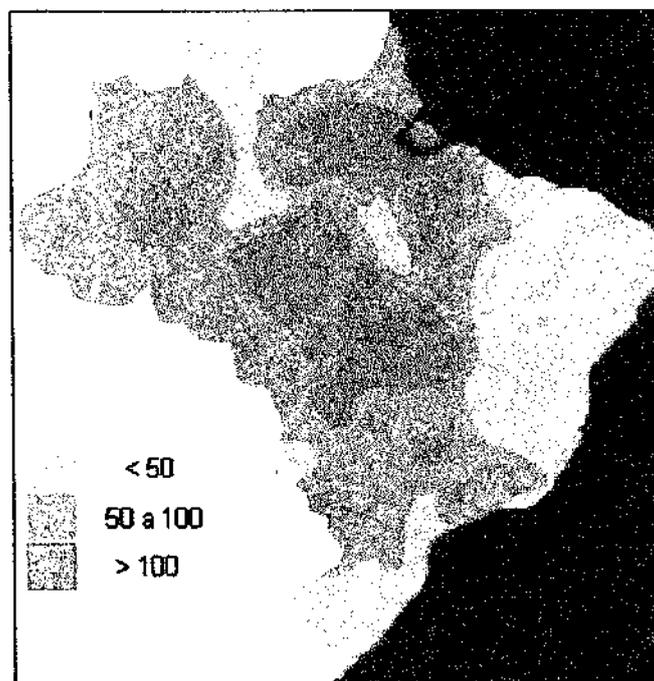


Figura 15 – Exemplo de mapa isoceráunico
Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)



Relatório Final de Atividades 2004

Esse índice determina normalmente a quantidade de relâmpagos nuvem-solo ou solo-nuvem, pois são baseadas em observações. Embora o método não mostre o total de descargas que realmente ocorrem, visto que nem todos os relâmpagos são observados, além dos relâmpagos intra-nuvem que não são considerados na maioria dos casos, ele é capaz de mostrar a variação a nível global e regional do total de descargas.

5.2.7. Satélite TRMM

Nos últimos anos, com o desenvolvimento de novas tecnologias e o aprimoramento das técnicas de medidas de tempestades, houve um grande crescimento na área de pesquisa de relâmpagos. Entre essas novas tecnologias destaca-se o satélite do projeto TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), que seria usado para estudar fenômenos de mesoescala, como a dinâmica, convecção e microfísica das tempestades.

No entanto, os dados de relâmpagos foram obtidos apenas a partir do acoplamento de instrumentos como os sensores LIS e OTD. O sensor LIS (*Lightning Imaging Sensor*) registra a ocorrência do fenômeno a partir da energia radiante, o que torna seus dados um tanto generalizados, visto que não possibilita distinguir dos relâmpagos intranuvem e nuvem-solo. Além disso, deve se levar em consideração o fato de que o mesmo não registra todas as descargas, imageando faixas de 550 por 550 km da superfície terrestre por até 80 segundos a cada passagem, não sendo registradas descargas a todo o momento, tendo em vista que durante muitos dias as tempestades não são imageadas, causando uma grande generalização nos seus resultados. Outro sensor que também faz parte deste projeto é o sensor OTD (*Optical Transient Detector*), a bordo do satélite MicroLab-1, cuja missão seria oferecer um maior conhecimento da distribuição das tempestades, desenvolvimento das nuvens e a variação das tempestades a partir da detecção e localização dos relâmpagos sobre grandes áreas da superfície terrestre. A Figura 16 mostra uma imagem de cada sensor, LIS e OTD, para as coordenadas do Estado do Rio Grande do Sul.

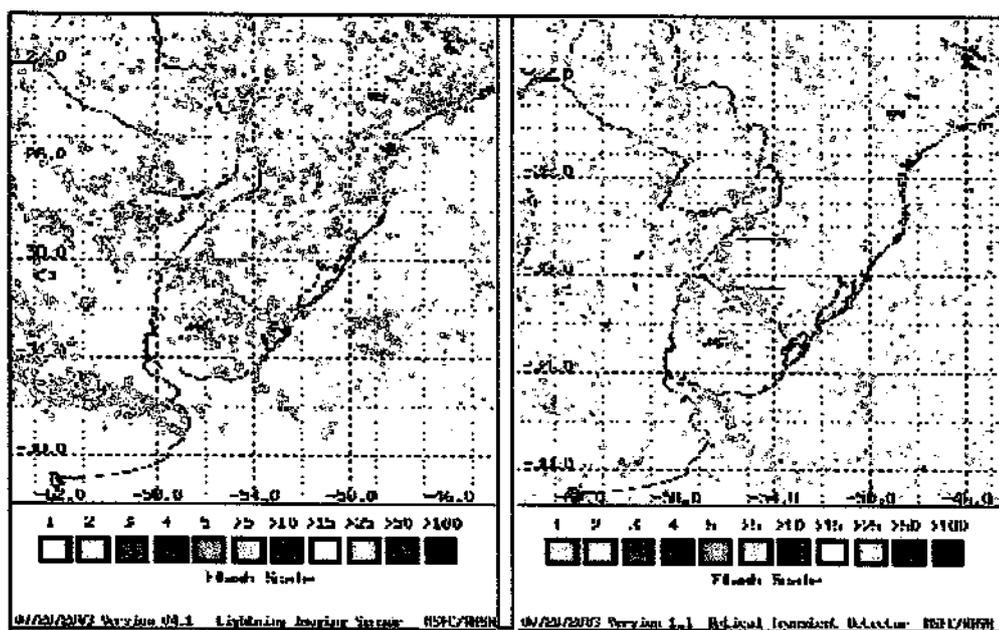


Figura 16 – Imagem dos sensores LIS e OTD para o RS

Fonte: <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning/cgi-bin>

Uma das vantagens desse sensor é que ele se localiza a 740 km de altitude, podendo identificar a atividade elétrica por até quatro minutos em um mesmo local, tornando o dado mais confiável.

Da mesma forma que o sensor LIS, ele não é capaz de diferenciar as descargas que ocorrem no ar e das que ocorrem entre a nuvem e o solo, tornando seus resultados de certa forma generalizados.

5.2.8. Sistemas de Detecção de Relâmpagos

Dentre os métodos para determinar o total de descargas, o melhor a ser considerado é o feito através dos sistemas de detecção de descargas. Esses sistemas caracterizam-se por uma rede de sensores localizados em diversos pontos da superfície, captando desde as descargas intra-nuvens até as nuvens-solo, porém fazendo a distinção entre elas, sendo, portanto, o meio mais eficiente até o momento.

No entanto, devemos considerar o fato de que esses sistemas de detecção não cobrem completamente a superfície terrestre até o momento atual, sendo restritos a alguns países e ainda não cobrindo completamente muitos desses. As maiores redes de



Relatório Final de Atividades 2004

deteccção se encontram nos Estados Unidos e Canadá, mas principalmente países europeus têm desenvolvido bastante seus sistemas de deteccção, bem como as pesquisas em torno dos relâmpagos.

Tem, pois, destaque nesse estudo a Rede Nacional de Deteccção de Relâmpagos dos Estados Unidos (NLDN, *National Lightning Detection Network*), que é formada por um conjunto de 59 sensores do tipo LPATS-III (*Lightning Positioning and Tracking System*) e 47 sensores do tipo IMPACT (*Improved Accuracy From Combined Technology*), com um total de 106 sensores distribuídos por todo o país (Tavares, 1999).

Os sensores detectam as componentes eletromagnéticas resultantes das descargas, e a partir de uma interpolação de vários sensores, podem determinar a posição e o instante de ocorrência da descarga. Essa interpolação pode ser feita pelo método denominado de “método do tempo de chegada” (TOA, *Time-Of-Arrival*), e a partir de interseções circulares associado a um método algoritmo iterativo, determinar a localização do evento. Outro método é o da determinação magnética da direção (MDF, *Magnetic Detection Finding*), usando para tal o campo magnético gerado pela descarga, estabelecendo o ângulo azimutal entre a descarga e o sensor (Global Atmospheric, 1997 *Apud* Tavares, 1999).

Estes tipos de sensores estão instalados em parte do nosso país, sendo que hoje o Brasil já apresenta a 3ª maior rede de deteccção de relâmpagos do mundo. O uso dessas redes de deteccção é de grande importância no desenvolvimento de pesquisas, especialmente para um melhor entendimento desses fenômenos, bem como dos fenômenos que ocorrem em associação aos relâmpagos, como é o caso dos Sprites, Elves e Blue Jats.

5.2.9. Proteção contra Relâmpagos

São inúmeros os casos de mortes registrados por ano de vítimas de descargas elétricas atmosféricas, além ainda dos gastos dispendiosos gerados pelas mesmas. Essas conseqüências dos relâmpagos podem muitas vezes ser resolvidas a partir da instalação de pára-raios, bem como do aumento de informações a seu respeito às pessoas. Os casos



Relatório Final de Atividades 2004

de órbitos sempre estão mais relacionados a regiões descampadas, como campos e lavouras, sendo que grande parte das vítimas estão ligadas a atividades agrícolas ou a qualquer atividade realizada a céu aberto, estando expostas de forma mais direta e sem nenhuma proteção.

Quanto maior a concentração da população, maior a probabilidade de ocorrência de mortes. Porém nas cidades, estas são amenizadas devido à presença dos pára-raios em altos edifícios, que atraem as descargas com mais facilidade. Estes equipamentos foram primeiramente sugeridos por Benjamin Franklin, por volta de 1750 e usados por volta de 1752 na França e Estados Unidos (Pinto Junior & Pinto, 2000). Vários pára-raios podem ser usados ao mesmo tempo, interligados por condutores horizontais.

A região de proteção de um pára-raios é definida como a zona de proteção e é tida em termos de eficiência de o mesmo captar e conduzir o relâmpago ao solo. O primeiro método para determinar a eficiência desses sistemas de proteção é a **teoria do cone de proteção**, que, baseada em resultados obtidos no final do séc. XIX indica uma eficiência de 90% quando definida uma região cônica com ângulos 45° a partir da ponta da haste, o que no solo delimitaria um círculo cujo raio corresponde à altura da haste (Figura 16). No entanto esse sistema não é aplicável em todos os casos, dependendo das variações na Atmosfera, da altitude da nuvem e variações do solo. Pode então ser usado outro método, chamado de **teoria da esfera rolante**, a qual é baseada na distância de atração entre a ponta do líder escalonado e o local de queda no solo, sendo esse o diâmetro estabelecido à esfera, que é sobreposta de modo que a circunferência toque a extremidade da antena e o solo, formando um ângulo de 90° (Figura 17). Geralmente possui uma área de proteção inferior à obtida pelo cone de projeção. O objetivo destes sistemas é intensificar na extremidade da haste o campo elétrico criado pelo líder escalonado, iniciando uma descarga conectante e levando a corrente por um caminho de baixa resistência em direção ao solo, dissipando ali a corrente, e minimizando ao mesmo tempo os potenciais gerados no sistema e no solo.

Durante muitos anos foi usada no Brasil uma variação dos pára-raios do tipo Franklin, que adicionam aos antigos um elemento radioativo na ponta da haste a fim de

Relatório Final de Atividades 2004

ionizar o ar ao seu redor, facilitando a descarga conectante, sendo chamados pára-raios radioativos. Porém estes produtos apresentam alta periculosidade e resultados não muito satisfatórios, se comparados ao original, sendo o mesmo proibido desde 1988, no entanto ainda são bastante utilizados no Brasil. Outro tipo de pára-raios, muito utilizado em prédios com equipamentos e construções extremamente sensíveis a danos causados por raios, é o método da gaiola, que se faz por condutores horizontais conectando os terminais aéreos na forma de uma gaiola, atuando assim como uma camada de blindagem, protegendo o que estiver no seu interior.

O aterramento depende muito das características do solo, que variam constantemente de uma região para outra, cabendo a equipe de instalação certificar-se da correta análise das características do local de instalação, para que a mesma seja feita de modo a maximizar a segurança. Embora a quantidade de descargas sobre o oceano seja muito inferior do que sobre o continente, não deixa de ser necessário preocupar-se com a ocorrência destas descargas. Para tal, esse mesmo tipo de equipamento de proteção é encontrado nos barcos, que possuem, normalmente junto ao mastro, um cabo condutor que conduz a descarga até o casco do barco, onde fica uma placa metálica, que em contato com a água, dissipa a carga evitando danos maiores.

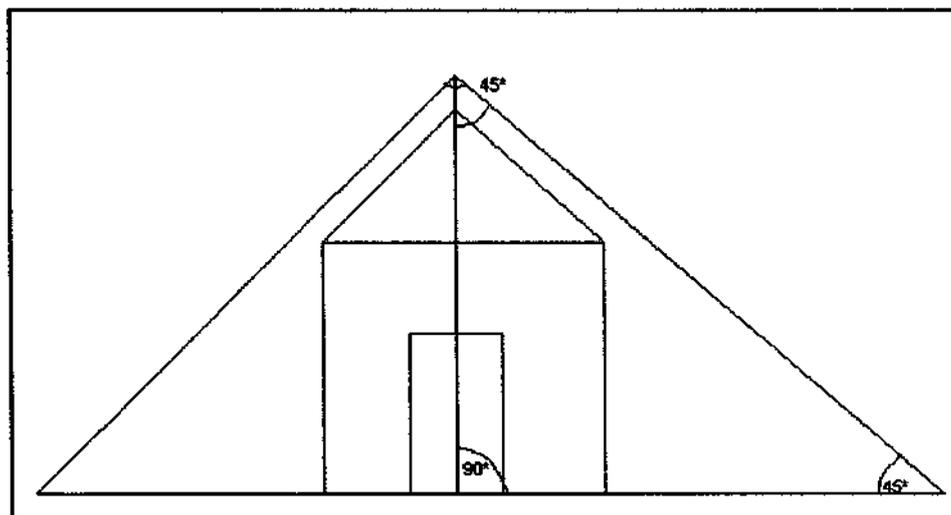


Figura 17 – Teoria do Cone de Proteção
Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

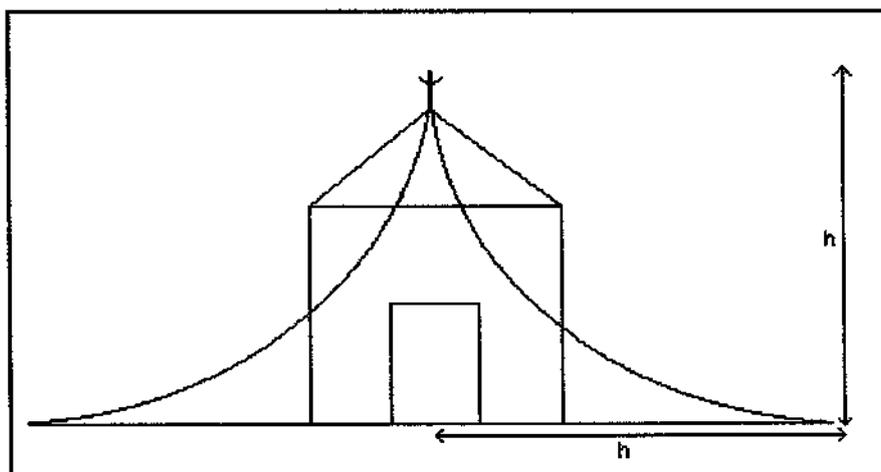


Figura 18 – Teoria da esfera rolante

Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

Os relâmpagos ainda podem causar danos às instalações elétricas, bem como aos equipamentos eletrônicos, pelas chamadas sobretensões, que são surtos de tensão causados pelas descargas atmosféricas durante as tempestades, e que podem levar a queima desses aparelhos, bem como causar incêndios e prejuízos enormes. Para tal proteção são indicados os usos de supressores, que protegem os equipamentos eletrônicos contra essas sobretensões.

Apesar de todo o conhecimento que se tem a respeito dos relâmpagos até agora, ainda não é possível eliminar totalmente os riscos de sua ocorrência e eventuais danos. Muitas pessoas ainda têm sido vítimas de raios, e muitos gastos, especialmente em redes de distribuição de energia, têm sido vistos ao longo dos últimos anos, demonstrando a necessidade de estudos nessa área.

5.2.10. Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera

Os fenômenos transientes de alta Atmosfera ainda são uma incógnita em muitos de seus aspectos conceituais, visto que o seu estudo ainda é por demais recente. Muitos estudiosos têm dedicado seu tempo para tais fenômenos, buscando compreendê-los e também descobrir suas influências na alta Atmosfera, bem como seus efeitos sobre a ação antrópica.



Relatório Final de Atividades 2004

Os modelos para explicar a ocorrência desses fenômenos apóiam-se principalmente, no que diz respeito à fonte de energia dos mesmos, nos campos elétricos associados a relâmpagos, que são os campos quase estáticos, devido à distribuição de cargas originais; o pulso eletromagnético devido à propagação do relâmpago de retorno; ou o campo quase eletrostático, devido à redistribuição de cargas na Atmosfera por correntes (Tavares & Santiago, 2002). Esses modelos mostram que os campos elétricos causam a excitação da Atmosfera neutra, originando os fenômenos explicados adiante. A Figura 19 mostra alguns dos fenômenos e os campos elétricos associados aos mesmos na sua formação, onde EMP representa os pulsos eletromagnéticos (*electromagnetic Pulses*) e QE representa os campos quase eletrostáticos (*quasi-static electric fields*).

5.2.10.1. Sprites

Estes fenômenos, descobertos a cerca de uma década, são, como já foi exposto anteriormente, resultado de um complexo sistema, o campo elétrico atmosférico global, sendo os mesmos encontrados como complemento a esse campo.

Tratam-se de fenômenos óticos de alta Atmosfera, ou seja, da Mesosfera até a camada D da ionosfera, atingindo altitudes de até 95 km de extensão, com uma média máxima de altitude de 88 km (Tavares, 1999). Eles possuem associação direta com nuvens de tempestade, originando-se acima destas, e associados ainda às descargas elétricas, geralmente do tipo nuvem solo positivas, porém sem que haja uma associação única com essas, considerando que eles também podem ocorrer associados aos relâmpagos “aranha” e a relâmpagos do tipo nuvem solo negativos.

Os *sprites* apresentam usualmente uma cor avermelhada, apesar de muitas pessoas verem eles em outras cores devido a grande velocidade de sua ocorrência e conseqüente não-formação de uma imagem distinguível pelo homem. Eles ainda são conhecidos como *sprites* vermelhos – *red sprites*.

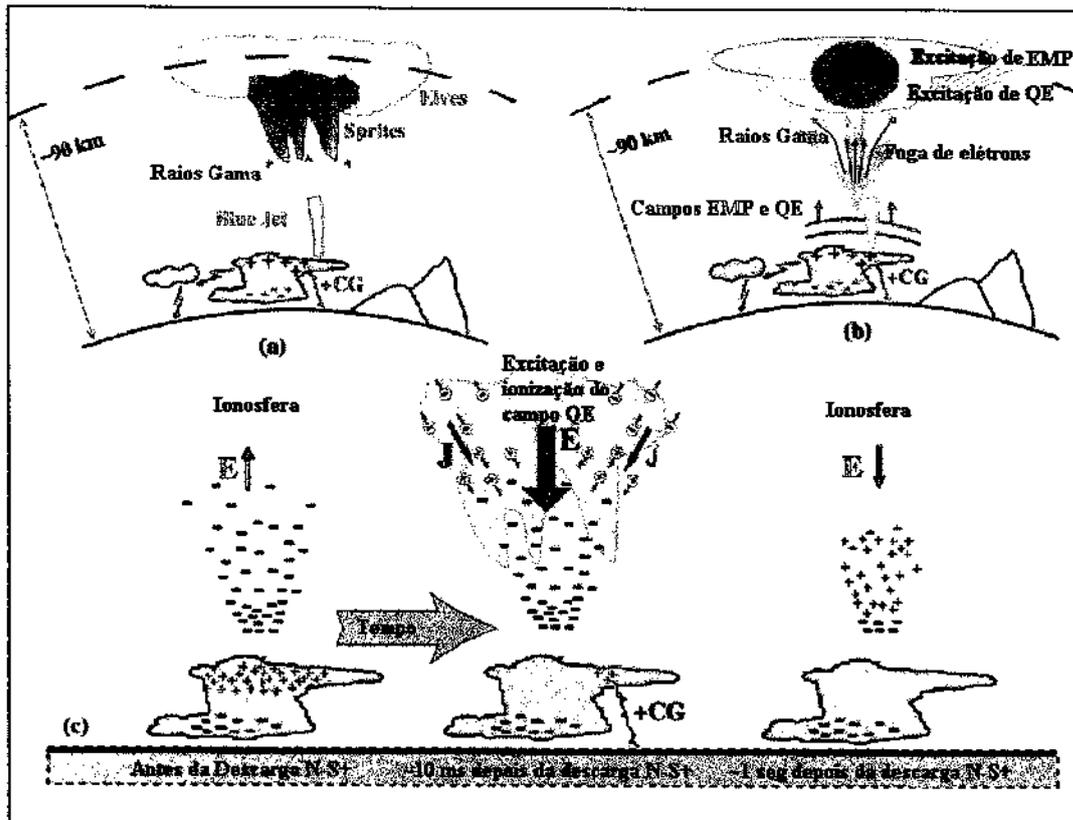


Figura 19 – Sprites, Elves e Campos Elétricos Associados

Fonte: adaptado de Inan (2002).

Esses fenômenos não são facilmente identificados a olho nu, podendo apenas os mais brilhantes ser observados, visto que ocorrem em média em menos de 1 segundo, sendo possível ao homem apenas fazer uma distinção visual dos fenômenos mais luminosos. Só foi possível visualizar de forma mais adequada esses fenômenos em vídeo a baixa velocidade, além de os mesmos necessitarem de sensores óticos de alta sensibilidade.

Ele pode ser dividido em níveis ou regiões, sendo que a mais brilhante, denominada de cabeça ou “*head*”, se encontra, em média, entre 66 e 74 km de altitude. Acima da cabeça encontra-se o “*hair*”, região com um brilho menos intenso e com uma estrutura de finas estrias, que se estende em média até 88 km, e que é separada por uma banda escura denominada de “*hair line*”. Nos eventos mais luminosos observou-se outra banda escura, porém logo abaixo da cabeça, denominada de “*collar*” e abaixo desse estendem-se filamentos denominados de “*tendrils*” ou “*tentáculos*”, com uma cor



Relatório Final de Atividades 2004

vermelha abaixo do colar, passando gradualmente para o azul a medida em que se estende para baixo, possuindo os mesmos uma altura estimada em 40 km (Tavares, 1999).

Acredita-se que os relâmpagos gerados durante as tempestades criem um intenso campo eletrostático na Atmosfera, fazendo com que os íons e elétrons dispersos na Atmosfera sejam excitados de forma a emitir a luz vermelha. Eles ocorrem por um processo muito similar a formação de auroras, mas que, no entanto, devido ao fato de os mesmos ocorrerem em altitudes inferiores que a aurora, onde a frequência de colisão entre as partículas é maior, apenas formam emissões de vida curta, sendo resultado de transições rápidas (Tavares, 1999).

Estimativas de luminosidade destes fenômenos podem ser feitas com base no brilho dos corpos celestes, sendo que a intensidade ótica média dos *sprites* é tida em torno de 10-50 kR, o que se compara a uma aurora de brilho moderado. Devido a essa baixa intensidade luminosa e a curta duração é que o homem só é capaz de perceber os eventos mais brilhantes.

Esses fenômenos ocorrem associados a tempestades com alta atividade elétrica e, para tal, com grande desenvolvimento vertical, considerando dessa forma sistemas tropicais, frentes, linhas de instabilidade, sistemas convectivos de mesoescala, comumente ainda em complexos convectivos de mesoescala, onde ocorre grande número de relâmpagos nuvem-solo positivos, aos quais esses fenômenos mais se associam.

Embora sejam fenômenos mais comuns do que se pensava até pouco tempo atrás, sua frequência é relativamente baixa se comparada aos relâmpagos normais, sendo que estudos indicam a ocorrência de um *sprite* para cada 200 relâmpagos que ocorrem no mundo.



Relatório Final de Atividades 2004

5.2.10.2. E.L.V.E.S. (Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations From Electromagnetically Pulsed Sources)

Elves são emissões luminosas de cor vermelha, com um formato anelar e extensão vertical entre 100 e 300 km, ou simplesmente um aumento de luminosidade na camada de luminescência atmosférica, junto à camada D da ionosfera, com uma natureza provavelmente química. Possuem duração média de 1 ms, sendo muito rápidos, associados a relâmpagos do tipo nuvem solo positivos de grande intensidade, ocorrendo em resposta a alguns destes. Destaca-se que a intensidade de descarga para que ocorram *elves* com ou sem associação as *sprites* é muito maior do que a intensidade do relâmpago necessária para que ocorram *sprites* sem *elves*.

Quando os mesmos ocorrem, sempre logo após o início do relâmpago nuvem-solo, eles sempre antecedem ao início dos *sprites*, podendo ser seguidos por eles ou não. A velocidade de expansão lateral estimada para tais fenômenos é em média de três vezes a velocidade da luz. Geralmente esse fenômeno ocorre associado aos *sprites*, porém em descargas com grande corrente, ou seja, acima de 60 kA (Barrington-Leigh *et al*, 1999).

A alta luminosidade aparente desses fenômenos é resultado do grande aquecimento da baixa ionosfera causado pelos pulsos eletromagnéticos gerados pelos relâmpagos ocorrendo durante as tempestades. Seus resultados na propagação de ondas de rádio e efeitos na baixa ionosfera ainda são de pouco conhecimento.

5.2.10.3. Jatos Azuis ou “Blue Jats”

Esses fenômenos são observados logo acima das nuvens de tempestade, sendo, pois ejeções óticas das regiões eletricamente ativas das tempestades (Tavares & Santiago, 2002), podendo ser feixes de carga positiva ou de carga negativa, dependendo para tal da polaridade do relâmpago. Tratam-se de feixes de luz azul que saem do topo das tempestades e se propagam para cima em cones com ângulo médio 14, 7° com variações entre 6 e 30° (Tavares, 1999). Identificou-se que os mesmos não apresentam alinhamento com o campo magnético.



Relatório Final de Atividades 2004

Esse tipo de fenômeno atinge uma altitude terminal em torno dos 40 km, porém depois de atingir altitudes superiores a 30 km, eles começam a perder brilho e contraste, desaparecendo gradualmente. Eles perduram, em média, por 200 ms após o seu início e se propagam com uma velocidade vertical média de 98 Km/s com mínima de 78,9 Km/s e máxima de 114,4 Km/s (Tavares, 1999). Acredita-se que eles sejam resultantes das moléculas e íons resultantes do N₂ e O₂. A região onde os mesmos ocorrem é muito semelhante à região superficial, com valores para tais gases, respectivamente, de 77% e 11% do total da composição, produzindo um fenômeno semelhante ao observado no céu, que assume uma cor azulada devido também a esses gases em dias normais e uma cor mais avermelhada quando a quantidade de poeira e poluentes é grande na Atmosfera.

5.2.10.4. Precursores Azuis ou Precursores

Esses fenômenos se assemelham muito aos jatos azuis, mas possuem uma altitude terminal inferior. Sua ocorrência está associada a grandes correntes convectivas e, portanto nuvens com grande desenvolvimento vertical, próximo de 20 km, e estendem-se até no máximo 25,5 km a partir do topo da nuvem (Tavares, 1999).

Embora não seja encontrada relação direta destes fenômenos com descargas intra-nuvens ou nuvem-solo positivas e negativas, sua região de ocorrência é, no geral, a mesma área associada aos relâmpagos nuvem-solo negativos, sendo estatisticamente comprovado que a sua distribuição cumulativa apresenta relação com a ocorrência destes fenômenos. Esta relação se mostra similar nos jatos azuis.

Acredita-se que a forte convecção ascendente ligada ao granizo durante as tempestades é que produza as descargas negativas nuvem-solo e a carga positiva do topo da tempestade, a qual dá origem aos precursores. Dessa forma, acredita-se que correntes ascendentes muito fortes estejam associadas à formação dos precursores, sendo responsáveis pela separação de cargas. Assim, tempestades com precipitação de granizo são as principais formadoras destes fenômenos, sendo os precursores observados com frequência durante esses eventos.



Relatório Final de Atividades 2004

5.2.10.5. Sprites e relâmpagos nuvem-solo positivos

Os *sprites* e outros fenômenos transientes de alta Atmosfera estão mais relacionados, de acordo com as pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, a relâmpagos nuvem-solo positivos, especialmente considerando o fato de que, normalmente, esse tipo de relâmpago apresenta correntes de pico com valores mais elevados que as descargas nuvem-solo negativas.

Em seu trabalho, Tavares (1999) identificou que os *sprites* ocorrem associados a relâmpagos que apresentam desde valores de corrente relativamente baixos, inferiores a 20 kA, a valores muito elevados, acima de 150 kA. No entanto não devemos generalizar o fato somente a relâmpagos positivos, pois, apesar de a maioria dos fenômenos estarem associados a estes, outro número significativo de *sprites* não tiveram relâmpagos positivos associados a eles.

De um modo geral, a corrente média dos relâmpagos positivos apresenta-se com valores mais elevados durante o período de ocorrência dos *sprites* do que em outros momentos da tempestade, podendo então assim fazer a associação com os maiores valores de corrente para a ocorrência dos *sprites*. Dessa forma pode se afirmar que a média de corrente dos relâmpagos positivos associados à *sprites* é maior que a corrente de todos os relâmpagos positivos da tempestade. Porém não se deve generalizar, visto que há *sprites* que ocorrem associados a relâmpagos positivos com valores inferiores a média de corrente dos relâmpagos nuvem-solo positivos das tempestades.

Os *sprites* estão associados mais a relâmpagos com picos de corrente mais elevados que a dos demais relâmpagos da tempestade. Estes, na maioria, possuem uma faixa de corrente entre 10 e 20 kA, enquanto que os relâmpagos associados à *sprites* mantêm uma média de corrente entre 40 e 50 kA (Tavares, 1999).

No entanto, deve-se considerar o fato de que a ocorrência de relâmpagos nuvem-solo positivos não é uma condição necessária para a ocorrência dos *sprites* e nem determina a quantidade dos mesmos. Apesar de os *sprites* estarem associados aos relâmpagos positivos, sua ocorrência não se limita a esses, o que prova a necessidade de



Relatório Final de Atividades 2004

um maior estudo para apurar suas relações com as tempestades e o campo elétrico atmosférico global.

5.2.10.6. *Sprites e relâmpagos nuvem-solo negativos*

Outro aspecto analisado nos últimos anos é a associação dos *sprites* com outros tipos de descargas que não sejam as descargas nuvem-solo positivas. Embora elas estejam associadas à maioria das ocorrências dos *sprites*, não se relaciona a todos eles e, portanto, estando associadas a outros tipos de descargas.

Barrington-Leigh *et al* (1999) identificaram em seu trabalho, dois *sprites* associados a descargas nuvem-solo negativas, observando uma associação íntima entre os *sprites* e as descargas nuvem-solo negativas, visto que não havia outro registro de descargas em aproximadamente 10s e aproximadamente 60 km, nem outro evento que pudesse ser um *sprite*. No entanto, apesar desta associação para esses pesquisadores, estes fenômenos são considerados únicos ao longo de suas pesquisas. Isto remete a maior frequência da associação de *sprites* novamente a relâmpagos nuvem-solo positivos.

5.2.11. *Campos Elétricos associados à sprites*

Considerando o processo de formação dos *sprites*, observa-se que, ao contrário dos relâmpagos, cuja emissão ótica é produzida por processos termiais, pelo aquecimento do canal do relâmpago pelas correntes passando através dele, no caso dos *sprites* é diferente. Como a pressão nas altitudes entre 40 a 90 km onde esses fenômenos são observados é muito baixa, existem outros mecanismos que participam da produção de luz visível em adição à excitação termal pelas correntes das descargas.

5.2.11.4. *Fortes campos quase eletrostáticos*

Como já foi exposto anteriormente, a formação dos *sprites* está intimamente associada aos campos formados acima das nuvens de tempestade, dos quais se pode



Relatório Final de Atividades 2004

destacar os fortes campos quase eletrostáticos – QESF, *strong quase-electrostatic fields* - gerados na Atmosfera após relâmpagos positivos por sucessiva redistribuição das cargas induzidas no espaço (Tonev & Velinov, 2003). Estes campos causam um significativo aquecimento e modificações da densidade de elétrons e condutividade elétrica na Atmosfera.

Mudanças nas cargas das tempestades levam ao aquecimento ou resfriamento sobre ou abaixo do nível inativo. Os campos quase eletrostáticos são gerados em torno das nuvens de tempestade, gerando um desarranjo elétrico neste local. Dois tipos de desarranjo são observados: o desarranjo termal, como resultado de um intenso aquecimento por elétrons de baixa energia, causado pelos campos quase eletrostáticos; e um modelo alternativo, criado a partir da fuga de elétrons, gerados pelos raios cósmicos, e continuamente acelerado pelos campos elétricos.

Esses elétrons, aquecidos pelas colisões devido à excitação do campo eletromagnético, aquecem os nêutrons e produzem calor, ionização e, dessa forma, as emissões óticas características (Tavares & Santiago, 2002).

5.2.11.2. Outros campos elétricos associados à sprites

Além dos campos quase eletrostáticos gerados acima das tempestades, destacam-se os campos quase estáticos, o pulso eletromagnético e a fuga de elétrons. O primeiro se refere aos campos gerados pela distribuição das cargas originais, que causam a excitação da Atmosfera neutra, causando os fenômenos óticos. Já o segundo se refere ao aquecimento pelos pulsos eletromagnéticos (EMP, *Eletromagnetic Pulses*) gerados pelo relâmpago, que podem aquecer os elétrons o bastante para uma significativa ionização secundária. Assim, a radiação do campo elétrico que é emitida para cima da ionosfera pelas descargas nuvem solo pode ser muito maior que próximo à superfície, devido a grande velocidade de propagação da onda do pulso de corrente no relâmpago nuvem-solo e devido ainda ao fato de que o potencial eletromagnético da carga em movimento tem função de tempo retardado (Bering *et al*, 2002).



Relatório Final de Atividades 2004

Assim, a radiação do campo elétrico que é emitida em direção a ionosfera pode ser grande o bastante para produzir uma descarga em direção à ionosfera logo acima das tempestades, pelo desarranjo das cargas nesta região.

Com relação especificamente aos *sprites* e a sua cor, tem-se que a cor vermelha é resultante da excitação do N_2^+ . A remoção de cargas da nuvem pelas descargas positivas acentua os campos elétricos acima das tempestades. Dessa forma, a camada de blindagem em torno da bigorna da nuvem, logo após a descarga ao solo, atua como um disco carregado, na forma de um capacitor horizontal, produzindo grandes campos sobre as tempestades na Mesosfera. O campo aumentado, por sua vez, acelera os elétrons na Mesosfera com baixa densidade, os quais colidem com as moléculas de N_2 , resultando na emissão da luz vermelha. Tem se, pois, que tempo de relaxação da blindagem da nuvem é da ordem de poucos milisegundos, ou seja, o tempo de duração dos *sprites*.

5.2.12. Equipamento ótico para levantamento de dados

Para a obtenção dos *sprites* se faz necessário o uso de determinados equipamentos para imageamento. Esses equipamentos constam principalmente de câmeras de vídeo intensificadas, ou seja, de grande sensibilidade, capazes de captar as mínimas variações de luminosidade. Estas câmeras podem estar a bordo de aviões, de ônibus espaciais, ou então no alto de montanhas, em sítios de observação a grandes distancias das tempestades.

Estes equipamentos óticos geralmente são câmeras com grande resolução temporal e grande resolução espacial e com grande qualidade de imagem. Tavares (1999), por exemplo, utilizou em seu trabalho câmeras Isocon inglesas e uma câmera CCD. As câmeras Isocon eram usadas na obtenção de imagens com boa resolução temporal, ou seja, 50 imagens por segundo. As imagens coletadas eram gravadas com uma resolução temporal por imagem de 20 ms, o que representa 50 quadros/s. Já a câmera CCD era mais utilizada com fins de melhor resolução espacial, dada em 1024 x 1024 pixels. Através dela podia-se ter imagens com alta definição de eventos até 650 km



Relatório Final de Atividades 2004

de distancia. Para investigar as características da cor vermelha foram necessários filtros especiais, centrados em uma determinada frequência, um em 665 nm e outro em 886 nm.

Sabe-se ainda que, na última década passou-se a fazer inúmeras campanhas para coletar imagens de *sprites*, *elves*, *blue jets* e demais fenômenos transientes de alta Atmosfera, muitas destas nos Estados Unidos. Nestas campanhas foram utilizados outros equipamentos, como as câmeras de vídeo de baixo nível de luz – LLTV, *Low-light-level video* – colocadas no alto de montanhas, que são extremamente sensíveis na captação da luminosidade. Dentre as campanhas realizadas pode-se citar a campanha realizada em 1994, denominada “Sprites94”, sendo que logo após ela é que se atribuiu o nome *sprites* aos fenômenos relatados anteriormente. Esta campanha usou de equipamentos de filmagem a bordo de aviões ou então em bases de observação no solo.

Ainda podemos destacar outra campanha para estudo dos *sprites* em 1999 - The 1999 Sprites Balloon Campaign – integrando ao mesmo tempo levantamentos feitos em balão e levantamentos feitos no solo – Ground based-optical observation. Esta campanha foi realizada no Estado do Colorado, nos Estados Unidos. Tendo isto por base, ainda usou-se da rede nacional de detecção de relâmpagos para fazer análises e relações temporais dos eventos (Bhusal *et al.*, 2003).

A bordo do balão estavam equipamentos que mediam o vetor campo elétrico, o vetor campo magnético, contador da taxa de raios-X, a emissão de luz dos eventos, densidade de corrente vertical, condutividade, temperatura e localização do balão. Já em solo se encontravam os equipamentos de vídeo – LLTV – em três locais diferentes, possibilitando a triangulação para a melhor localização do evento e a definição do tamanho deste. Foram estas campanhas que levaram a um maior conhecimento destes fenômenos, se não a todo conhecimento atual, visto que os mesmo tem por base especialmente a análise das imagens, bem como das características elétricas da alta Atmosfera.



6. RESULTADOS

A partir dos objetivos estabelecidos para o trabalho e pela metodologia aplicada obteve-se um conhecimento introdutório na área de eletricidade atmosférica, considerada como uma base teórica do assunto, acompanhada de trabalhos práticos nesse campo, além de discussões em grupo, objetivando um melhor entendimento do conteúdo. Além do exposto, também fez se a elaboração de trabalhos, uns já publicados e outros ainda em desenvolvimento.

Estes trabalhos práticos e teóricos foram desenvolvidos em acompanhamento a revisão bibliográfica e tomam importância no sentido da aplicação do conhecimento adquirido ao longo do período proposto para as atividades.

Com relação aos trabalhos práticos desenvolvidos pode-se destacar o laudo técnico elaborado na cidade de Chapecó no estado de Santa Catarina, juntamente com uma equipe de professores da universidade, e que cujo objetivo principal era identificar a relação entre uma linha de transmissão de energia de alta tensão e uma descarga elétrica que, de acordo com as informações teria influenciado na morte de quatro reses. Sendo assim, o laudo pretendia verificar a veracidade da informação para ambas as partes envolvidas, sendo estas a Companhia de Energia Elétrica e o proprietário das reses. Nesse sentido, foi elaborada uma análise detalhada no local, com medições de aterramento, distâncias entre a linha de transmissão e o local do acidente, entre outras observações. Como resultado constatou-se que, de forma mais concreta, a descarga teria atingido uma árvore em um capão onde se encontravam as reses, sendo observados ali possíveis “vestígios” da descarga junto à árvore e, assim também, a evidencia da não-relação do relâmpago com a rede de transmissão, cujo aterramento se encontrava em padrões certamente aceitáveis e que a torre da linha de transmissão mantinha uma distância muito grande do local em que as reses foram encontradas, de forma que a corrente certamente teria se dissipado a tal distância.



Relatório Final de Atividades 2004

Em conjunto ao levantamento das informações e análises relativas ao laudo, fez-se uma visita a Subestação de Energia Elétrica em Xanxerê, onde foram obtidos conhecimentos sobre alguns equipamentos, dentre os quais se destaca o contador de descargas elétricas. Este equipamento detecta sobretensões nas linhas de energia para determinar a ocorrência da descarga. Dessa forma se pode destacar a falta de confiabilidade do sensor, que mede as sobretensões, que podem ocorrer por diversos motivos e não apenas por relâmpagos. Maiores detalhes do laudo serão expostos em anexo ao trabalho, trazendo informações mais detalhadas sobre as atividades desenvolvidas durante os três dias de trabalho.

Alem do laudo, ainda tomou-se conhecimento dos equipamentos instalados no OES – Observatório Espacial Sul, em São Martinho da Serra no Rio Grande do Sul, onde se encontra um sensor de descargas elétricas, mas que, no entanto não se tem muito conhecimento e que não dispõe de dados, que são diretamente enviados ao Japão. Há também um sensor de campo elétrico, do qual ainda se está tomando conhecimento para a elaboração de futuros trabalhos a partir dos dados disponíveis. Outro equipamento observado foi o detector de Muons, que é usado no estudo e previsão de tempestades magnéticas.

Com relação aos trabalhos desenvolvidos durante o período referente às atividades, encontrou-se estreitas relações entre as descargas e as características geográficas do Rio Grande do Sul, bem como das características da dinâmica meteorológica e climática regional. Primeiramente, realizou-se um trabalho sobre o total de descargas ao longo de 4 anos, de 1998 a 2002, buscando um melhor entendimento da dinâmica e das características dos relâmpagos no Sul do Brasil.

Os resultados revelaram que o maior número de relâmpagos ocorre no mês de janeiro, podendo este fato ser associado às condições atmosféricas deste período, como o aumento da evaporação pelo maior aquecimento e conseqüente formação de nuvens do tipo *Cumulunimbus (Cb)*, que são grandes produtoras de descargas elétricas. O maior número de descargas também pode estar associado às ITs e/ou complexos convectivos

Relatório Final de Atividades 2004

de mesoescala (CCM), que passam a atuar com maior intensidade nessas condições, ou seja durante os meses mais quentes do verão.

Conforme pode ser visto na Figura 20, as descargas se concentram principalmente sobre o continente e somente uma parcela reduzida das mesmas sobre o Oceano Atlântico, o qual, além de ter mais estabilidade térmica (maior capacidade calorífica), não possui elevações (extremidades /pontas) que poderiam facilitar a formação das tempestades e, ao mesmo tempo, diminuir a resistência dielétrica do ar, tornando possível a descarga.

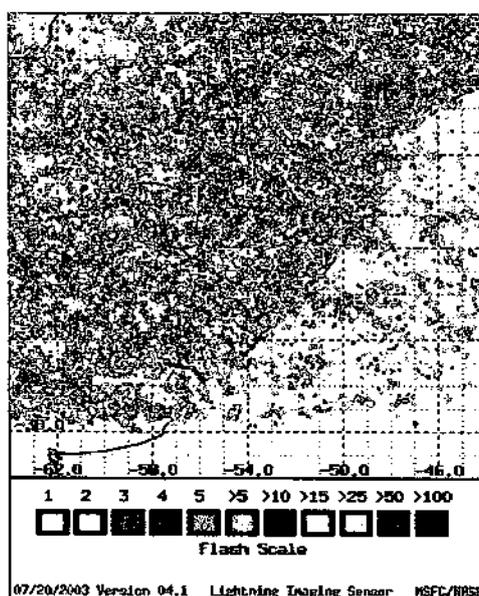


Figura 20 - Descargas elétricas acumuladas dos meses de janeiro

Fonte: <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning/cgi-bin>

Essas elevações (relevo, edifícios, torres de antenas), que são frequentes sobre o continente, contribuem para facilitar a formação das tempestades e contribuem para o rompimento dielétrico do ar, gerando assim maior número de descargas.

Ainda, baseado na figura, é possível ver que as descargas não estão dispostas de forma concentrada, o que leva a crer que as mesmas possuem sua gênese associada a convecções locais e as frentes. O total de descargas obtidas pela sobreposição dos meses de janeiro dos já mencionados anos foi de 67568 descargas.

Nos meses posteriores, a quantidade de descargas que ocorrem é menos expressiva, com a média em torno de 39296,083 descargas, possuindo apenas alguns



Relatório Final de Atividades 2004

desníveis que podem estar associados, entre outras causas, a ciclones frontais e a ascensão orográfica. Conforme Abdoulaev *et al* (2001 p.75), “As maiores taxas de descargas nuvem-terra são associadas à ciclogênese local, em média, 4 (quatro) vezes maior do que as taxas de raios associadas às frentes frias”. Estas ciclogêneses têm origem nas frentes, quando as mesmas perdem parte da sua força e conseguem ser penetradas pela massa de ar quente, ficando uma região de ar frio, uma de ar fresco e uma de ar quente, que ascende em movimento circulares/ciclogênicos, formando extensas regiões instáveis e gerando fortes ventos na sua região central.

Destarte, observa-se ainda que, nos meses em que se mantêm a média, muitas das descargas estão associadas também ao desenvolvimento de frentes frias que se formam constantemente ao longo do ano, perdendo suas características durante o período mais quente do mesmo. Estas frentes se formam pelas diferentes características entre as massas de ar atuantes na região, a massa polar atlântica vinda do pacífico sul e a massa tropical atlântica. Por vezes a massa polar atlântica associa-se a massa polar pacífica, tornando-se fortificada e causando muito frio no Rio Grande do Sul, causando o chamado *vento mimiano*. O choque entre essas massas de ar com diferentes características é que vão causar a formação das chamadas frentes frias ou quentes, levando a ascensão do ar e a conseqüente formação das nuvens e tempestades.

Nos meses que seguem, as descargas começam a ocorrer novamente com maior freqüência, à medida que imperam novamente temperaturas mais altas. Com essa análise verificou-se a existência de uma grande “amplitude” na quantidade de descargas entre os meses e grande variação da distribuição espacial das descargas durante o ano. No Rio Grande do Sul os relâmpagos têm se concentrado mais na sua porção ocidental.

A Figura 21 mostra a variação de relâmpagos ao longo do ano, tornando clara a maior concentração de descargas atmosféricas nos meses de verão em relação aos meses de inverno, onde o total de descargas baixa muito em relação ao restante do ano.

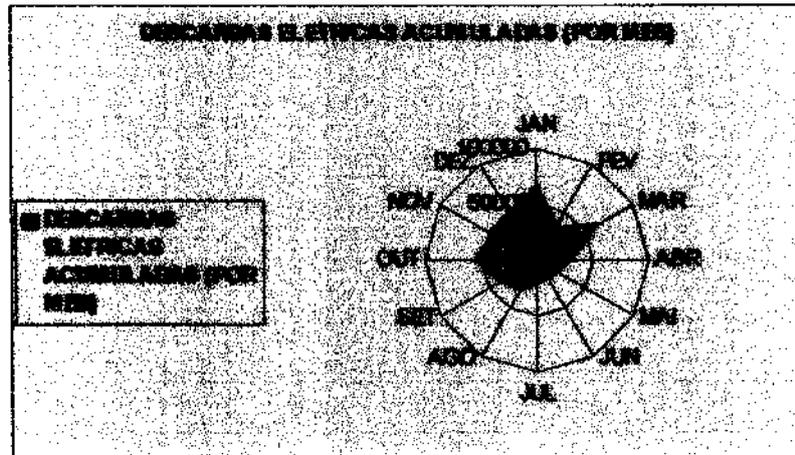
Relatório Final de Atividades 2004

Figura21 – Variação anual de descargas atmosféricas
Fonte: Bourscheidt, V. (2003)

Outro resultado obtido refere-se à variação de descargas entre o continente e o oceano no Rio Grande do Sul. O contraste observado comumente na relação entre continente e oceano, como é o caso da temperatura, pode ser observado em muitos outros fenômenos. Entre esses fenômenos se encontram as descargas atmosféricas, que sofrem a ação direta dessa disparidade no que diz respeito à quantidade de descargas, bem como das suas características – intensidade, descargas de retorno, polaridade, etc.

A partir do momento em que o sensor LIS e OTD do projeto TRMM passaram a captar a radiação emitida pelos raios, ou melhor, passaram a imagear os relâmpagos que ocorrem sobre a terra, observou-se uma grande disparidade no total de descargas entre o continente e o oceano. Porém essa disparidade era mais observada em grande escala.

Pode-se considerar essa influencia especialmente pela diferença de temperatura, observando que a temperatura sobre o oceano mantém certo equilíbrio em relação ao continente, que sofre mais com as variações diárias, bem como das variações sazonais; e também considerar essa variação relacionando ao fato de que sobre o continente encontramos variações de altitude, especialmente na área em estudo – o Rio Grande do Sul, que apresenta em seus domínios geomorfológicos relevos variados, indo desde altitudes próximas ao nível do mar até altitudes extremas na região da Serra Gaúcha.

Relatório Final de Atividades 2004

O mês de junho apresentou o menor número de descargas (Figura 22) com um total de 17047 descargas, porém com uma grande concentração dessas descargas na região em questão (observada também no mês de julho), fato que pode estar associado à dinâmica atmosférica, principalmente ciclones frontais e frentes.

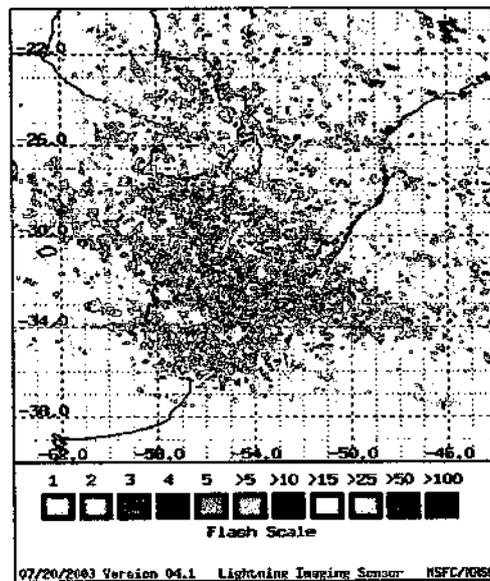


Figura 22 – descargas acumuladas dos meses de junho.

Fonte: <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning-cgi-bin>

Outro aspecto relevante que apresenta grande influencia na formação de tempestades e que deve influenciar na variação de descargas atmosféricas são as variações de aerossóis, que irão afetar diretamente no número dos núcleos de condensação das nuvens, aumentando a competição entre as partículas higroscópicas e levando a formação de inúmeras pequenas gotas e poucas gotas suficientemente grandes para cair sob a forma de chuva, o que causa um carregamento elétrico da nuvem, com grande quantidade de descargas e pouca chuva. Isto considerando que os aerossóis ocorrem em maior quantidade sobre o continente.

Deve ser considerado ainda o fato de que sobre o oceano há a ocorrência de muitas partículas de sal, mas em pequenas quantidades se comparadas aos aerossóis. Esses são alguns aspectos que podem influenciar na variação de descargas entre oceano

Relatório Final de Atividades 2004

e continente e que serão considerados na análise dos dados obtidos sobre a área em questão.

Destarte, deve-se ainda levar em consideração, antes de elaborar uma análise mais detalhada, o fato de que os dados, disponíveis a partir do site da nasa <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning-cgi-bin->, são obtidos a partir do *Lightning Imagem Sensor* – LIS – considerando dessa forma todos os relâmpagos, visto que o mesmo capta a radiação emitida pela descarga. Assim, tem-se o fato de que além das descargas nuvem-solo ou solo-nuvem, todas as outras formas de descargas, ou seja, intranuvem, internuvem, da nuvem para o ar, etc., são consideradas na análise.

Observando-se os resultados obtidos, é possível observar uma diferença considerável entre o continente e o oceano, mesmo se considerando uma área com pequena extensão. À medida que se reduz a escala de observação, continua se observando essa disparidade, mesmo considerando-se uma estreita faixa ao longo do litoral, uma sobre o continente, a outra em transição e a outra sobre o oceano, o que pode ser visto através da Figura 23.

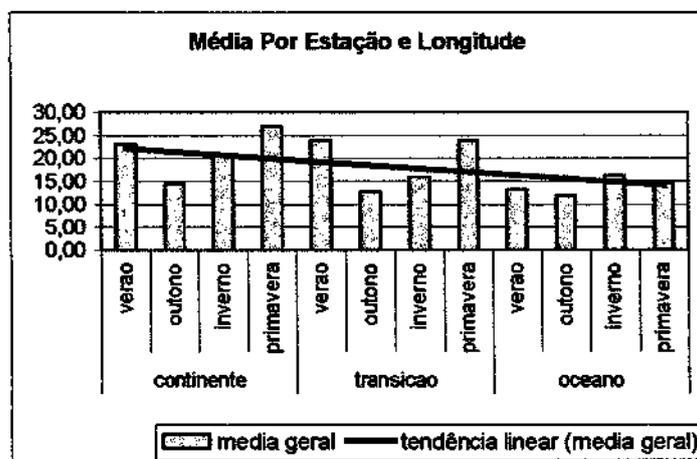


Figura 23 – Média de Relâmpagos por Ano e Faixa (Longitude)
Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

Pelo gráfico é possível identificar uma variação considerável entre o número de descargas que ocorrem sobre o continente e as que ocorrem sobre o oceano e até mesmo na faixa de transição. Observando-se a linha de tendência se pode identificar a variação

Relatório Final de Atividades 2004

de descargas entre o continente e o oceano e pelas colunas é possível observar uma grande aumento no número de descargas no ano de 2002, sendo que nas três faixas e durante os cinco anos analisados, este foi o ano que apresentou o maior número de descargas, seguido do ano de 2001. Este aumento ainda pode ser observado na Figura 24 e deve estar relacionado a uma variação sazonal das características meteorológicas do local.

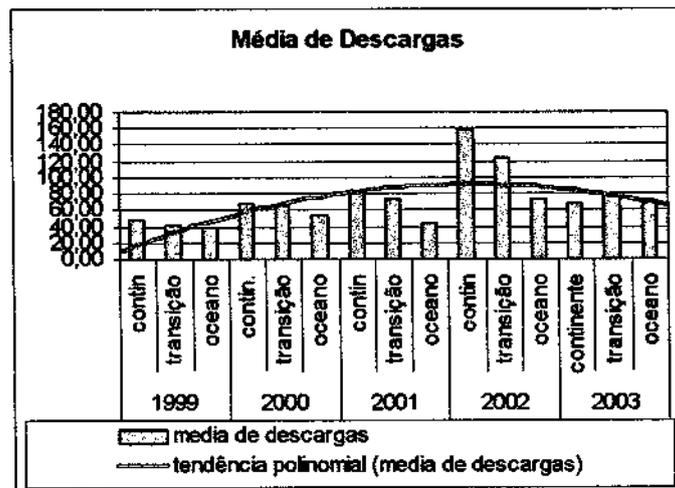


Figura 24 – Média de Descargas por Ano e Longitude
Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

Ainda observando o gráfico é possível identificar ao longo dos cinco anos que apenas no ano de 2003 há uma diferença no número de descargas maior sobre o oceano do que sobre o continente. Este fato deve estar relacionado às características meteorológicas e climáticas locais, que se caracterizam pela frontogênese e ciclogênese local, e que apresentam grande influência no extremo sul do Rio Grande do Sul, sendo que a ciclogênese apresenta grande importância sobre o oceano, provavelmente devido ao aumento das descargas sobre o oceano.

Outra observação a ser feita é a variação em cada estação do ano, sendo o mesmo observado no Figura 25.

Relatório Final de Atividades 2004

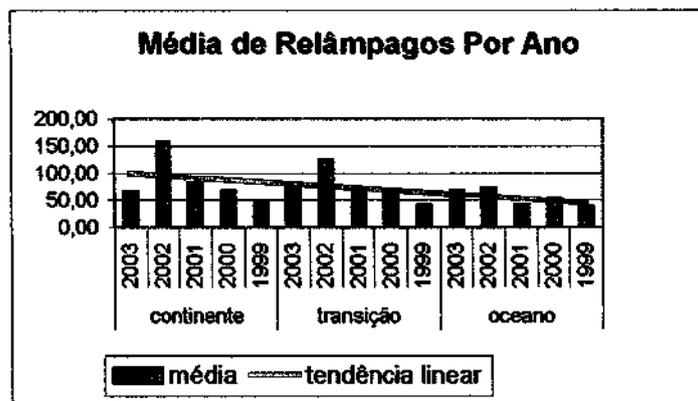


Figura 25 – Média de Descargas por Estação e Longitude
 Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

É possível observar pelo gráfico que há uma grande variação no número de descargas em cada estação, sendo o verão e a primavera as estações de maior ocorrência, o que está relacionado ao maior aquecimento em latitudes médias durante esse período. Há ainda uma grande ocorrência de relâmpagos no inverno, o que está relacionado também a frontogênese e ciclogênese local. O outono é o mês de menor ocorrência, visto que a temperatura está em declínio e a formação de frentes ainda não atinge seu pico. A variação observada sobre o oceano deve estar relacionada ao fato de que nos meses mais quentes o aquecimento sobre o oceano é menor, e que durante o período do inverno, em que a frontogênese assume importância, a mesma não sofre muita influência das variações de temperatura entre oceano e continente, ocorrendo ainda nesse período intensa ciclogênese associada às condições meteorológicas sazonais locais.

A variação latitudinal é mais observada nos mapas, feitos com base no total de relâmpagos e nas variações sazonais – por estação. A Figura 26 mostra a distribuição total de relâmpagos em todos os anos, sendo as cores representadas em ordem crescente, com uma amplitude de descargas igual a 685.

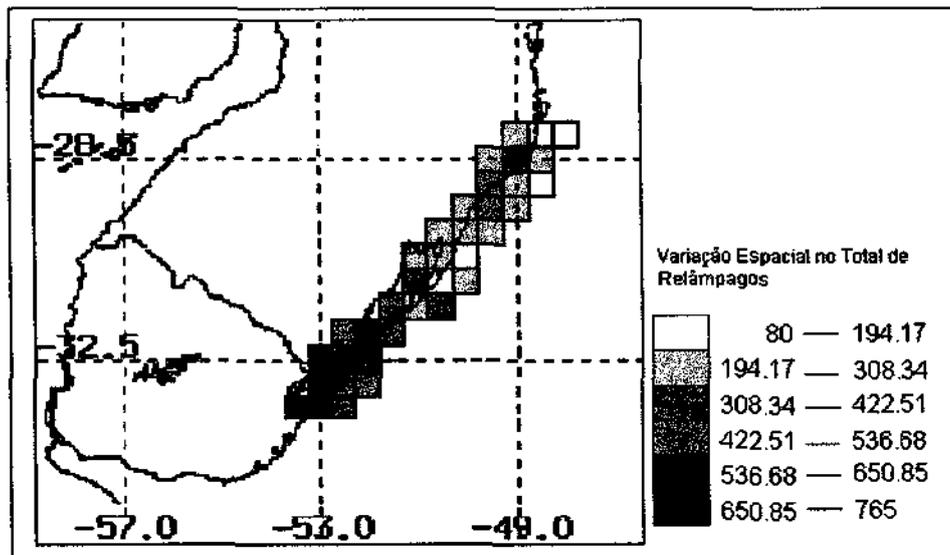


Figura 26 – Variação espacial no total de descargas

Fonte: Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

Pela espacialização das descargas pode-se observar que a maior parte das mesmas se localiza no extremo sul do estado, desde a região do Chuí até a parte central do litoral gaúcho, onde passa a decair, com algumas variações intermediárias. Essa grande concentração de descargas está relacionada à formação de grandes sistemas convectivos, a frontogêneses ou ciclogêneses, que apresentam grande atuação nesta região e que formam tempestades organizadas de grandes extensões e de grandes proporções. Se fosse levada em consideração a latitude, as mesmas deveriam aumentar. Porém, esta região está possivelmente condicionada pela formação Serra Geral, na parte Norte do Rio Grande do Sul, que eleva as massas de ar.

Devido a sua altitude na porção oriental, que atinge mais de 1000 metros de altitude próximo ao litoral, causando um aumento no número de relâmpagos durante a ascensão e, posteriormente, por um possível equilíbrio elétrico temporário, há uma queda no número de descargas. Outro argumento seria o de que o choque das massas de ar na região litorânea seria amenizado pela menor temperatura na região costeira em relação ao interior do continente, causando uma menor ascensão do ar nestas regiões e causando menos tempestades por convecção.

Relatório Final de Atividades 2004

Por outro lado, considerando a altitude como condicionante às descargas, pode-se observar um aumento no continente em relação ao oceano, especialmente na região da Serra, o que comprova a influencia da altitude.

Outro aspecto importante seria a formação de aerossóis e outras partículas sobre o continente devido à poluição e outras emitidas na Atmosfera e que aumentam os núcleos de condensação dentro das nuvens causando um grande aumento no número de descargas, mesmo que não haja muita precipitação.

Considerando a variação em cada estação do ano, podem-se elaborar também mapas representando a espacialização das descargas ao longo das estações de ano, conforme pode ser visto nas Figuras 28, 29, 30 e 31.

Pelo que se pode observar durante as quatro estações é que o total de descargas acompanha em geral as características meteorológicas e climáticas da região, ocorrendo que durante o verão as descargas apresentam um caráter esparso, distribuídas de forma praticamente regular ao longo do litoral, respeitando a diferença entre oceano e continente. Já no outono têm-se o menor número de descargas, já com um pequeno acumulo mais na região sul do estado, associado às frentes oriundas do Pacífico Sul. Durante o inverno se acompanha um aumento considerável no total de descargas, especialmente pela atuação das frentes e ciclogênese local, que intensa nessa região.

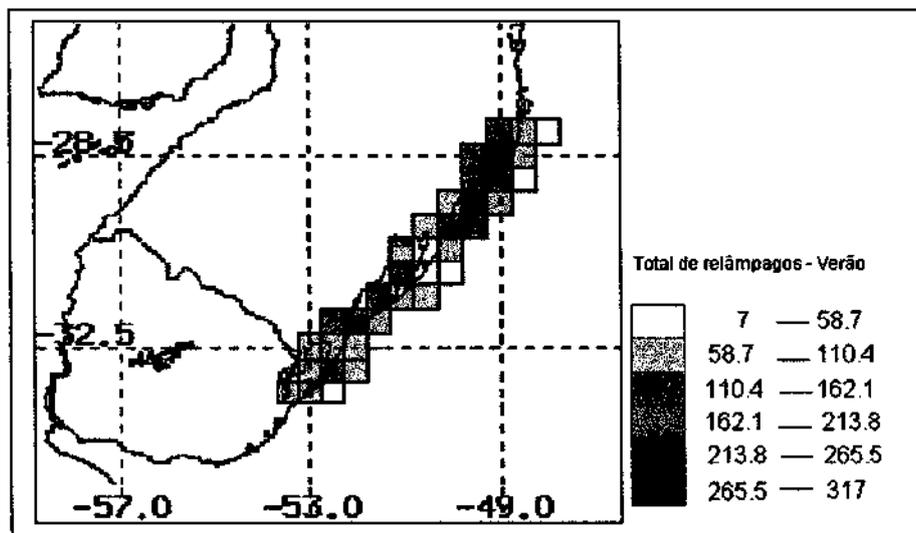


Figura 28 – Total de Relâmpagos no Verão
Fonte: Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

Relatório Final de Atividades 2004

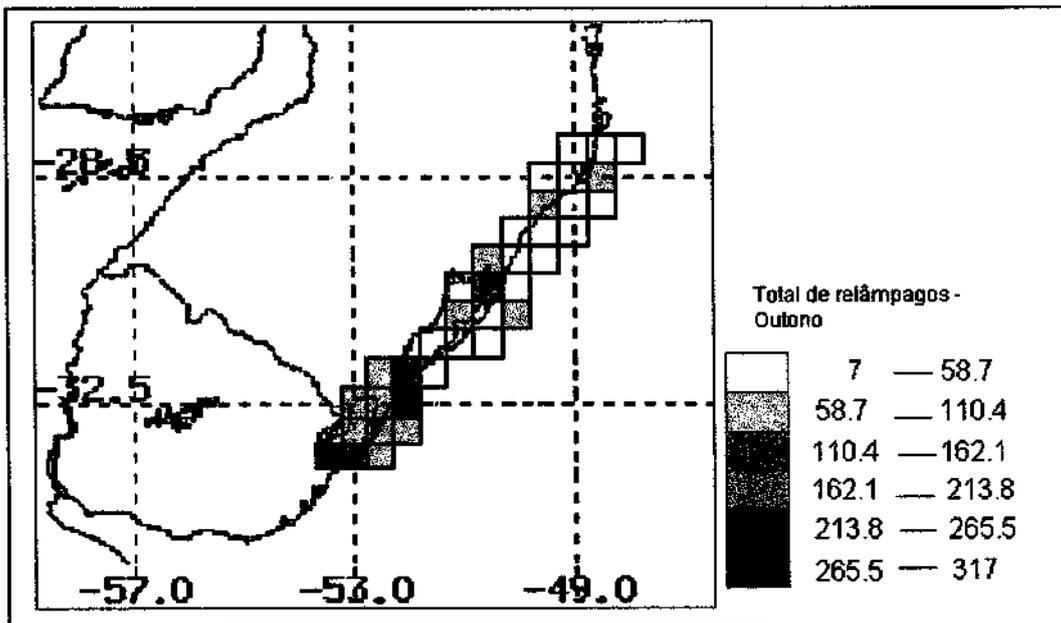


Figura 29 – Total de relâmpagos no Outono
Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

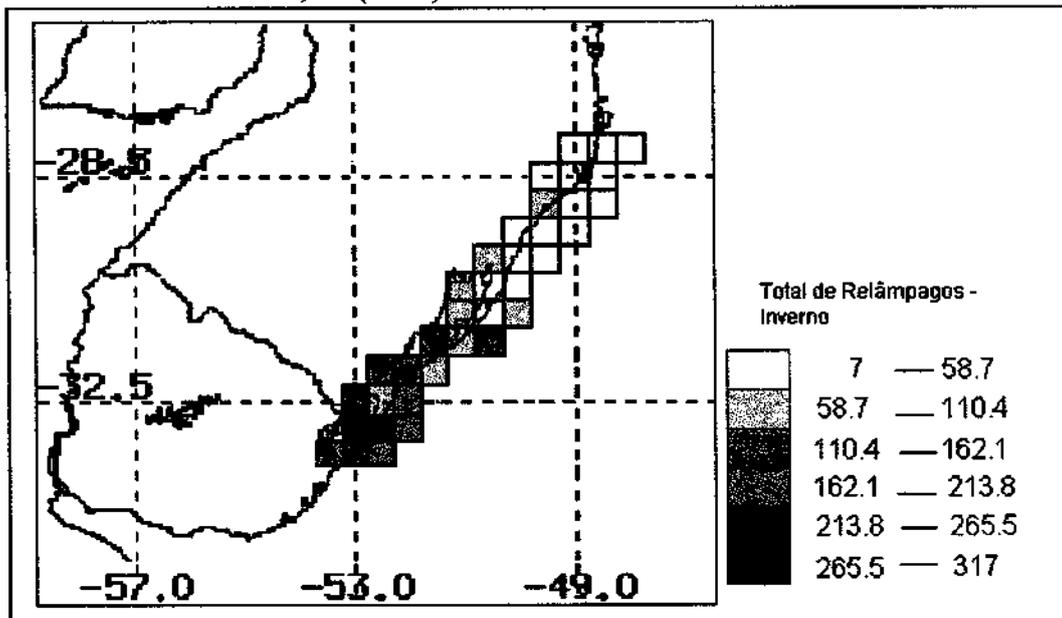


Figura 30 – Total de relâmpagos no Inverno
Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

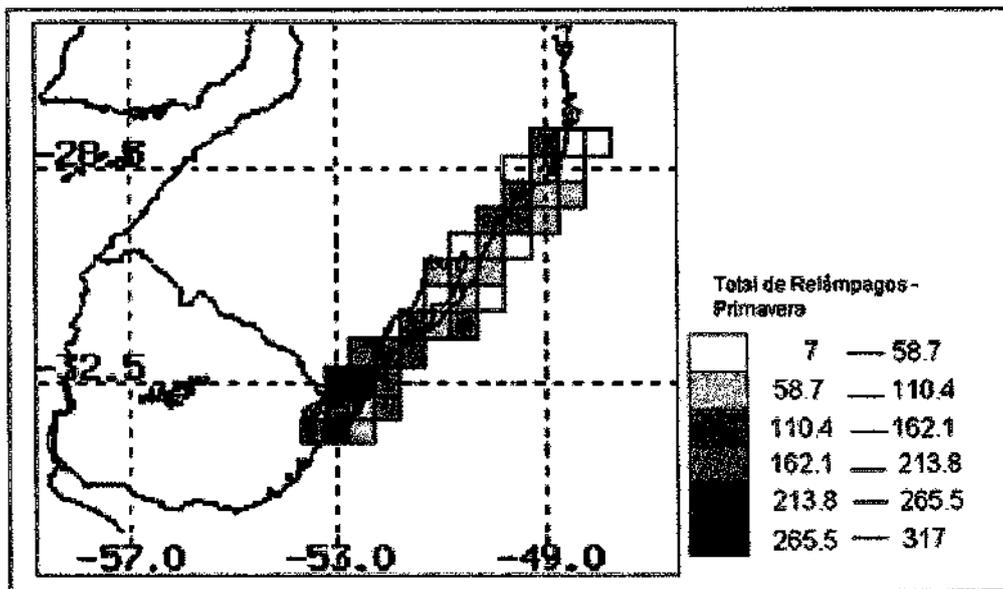


Figura 31 – Total de Relâmpagos na Primavera

Fonte: Bourscheidt, V. (2004)

Já durante a primavera há um aumento considerável no número de relâmpagos ao longo do litoral, porém, ainda se mantém elevada a quantidade de descargas associadas às características meteorológicas locais, sendo que neste mesmo período é que ocorre o maior número de descargas registradas – 317 – durante o período analisado.

Algo considerável é o fato de que com o aumento das descargas aumenta a disparidade entre o continente e oceano e à medida que diminuem as descargas, essa disparidade também decai.

A partir dos resultados obtidos pode se observar uma variação sazonal no total de descargas, associada às características meteorológicas desta região, visto que a mesma se encontra em um clima subtropical, propiciando a frontogênese e a ciclogênese, especialmente no extremo sul do estado.

Essa variação sazonal influencia no total de descargas, mas não interfere de forma marcante na variação entre o continente e o oceano no total de descargas, sendo que a mesma sofre mais influência da diferença de altitude entre os dois meios, além da temperatura e das partículas sólidas e aerossóis liberados na Atmosfera, que são consideravelmente maiores sobre o continente. No caso do Rio Grande do Sul, grande



Relatório Final de Atividades 2004

influência pode-se dizer ainda que seja a do relevo, que compreende a parte norte do estado, levando a ascensão das massas de ar e diminuindo número de descargas na porção norte, bem como sobre o oceano, devido a grande altitude no litoral norte.

Também é necessário destacar o fato de que, mesmo considerando pequenas áreas e regiões, já é possível observar a diferença entre oceano e continente no total de descargas atmosféricas.

É, pois, de grande importância esse tipo de análise, especialmente no que diz respeito ao entendimento da dinâmica atmosférica, as interações entre a superfície e a Atmosfera superior, enfim todos os elementos e fatores que compõem e interferem nessa dinâmica. Além disso, ainda deve-se considerar sua influência sobre o homem, sobre suas atividades, considerando nesse caso especialmente a faixa litorânea, sobre os meios de comunicação aquáticos e redes de alta tensão.

Com relação ainda aos trabalhos apresentados, pode-se destacar a introdução ao estudo de sprites, elves e blue jats, o que se fez apenas por uma revisão teórica preliminar, com base em bibliografias sugeridas, com explicações básicas dos fenômenos e que podem também ser observadas ao longo da revisão teórica do relatório. Estes foram os principais resultados alcançados ao longo do período de atividades.



7. CONCLUSÕES

Ao longo das últimas décadas a ciência e a tecnologia tem tido avanços extraordinários, caminhando sempre uma ao lado da outra. Nesse sentido, à medida que foram se aprimorando os meios de comunicação, todos os equipamentos sofisticados e ao mesmo tempo muito frágeis, também foram avançando as pesquisas nas diversas áreas científicas.

É, pois de destaque o estudo da eletricidade atmosférica, que nos últimos anos têm crescido consideravelmente, seja na descoberta de novos fenômenos associados ao campo elétrico atmosférico global, seja no aprimoramento de técnicas de proteção contra descargas atmosféricas, seja ainda entre tantos outros fenômenos correlatos.

Este crescimento do conhecimento das descargas atmosféricas, ao mesmo tempo em que complementa os estudos anteriores a cada dia, ainda auxilia na prevenção de acidentes, com perdas humanas e financeiras, sendo a sua ocorrência dispendiosa em muitos dos casos.

Fenômenos transientes de alta Atmosfera, que até a pouco mais de uma década eram apenas conhecidos por relatos, passaram a ser estudados, e a cada momento surgem novas possibilidades de sua interferência nas atividades humanas. A sua relação com a Atmosfera e o circuito atmosférico global ainda não está bem clara, tendo para tal diversos estudos buscando a contemplação destas explicações. A complexidade dos fenômenos se identifica com a complexidade dos instrumentos usados pelo homem no seu dia a dia, e exige que novas explicações devam ser feitas a todo o momento, considerando a renovação constante das áreas científicas.

Sob este ponto de vista, tem-se a necessidade cada vez maior de estudos, seja em qualquer área científica, mas aqui considerando a eletricidade atmosférica, para que imposição de determinadas barreiras possa ser superada constantemente, onde o



Relatório Final de Atividades 2004

conhecimento possa interagir de forma concreta com a evolução da humanidade, e que mais estudos possam ser elaborados para esclarecer as muitas duvidas, talvez até infinitas, que ainda restam sobre tudo que nos cerca.



8. BIBLIOGRAFIA

- Abdoulaev, S. *et al.* Análise de sistemas de mesoescala utilizando dados de descargas nuvem-terra. **Brazilian Journal of Geophysics**. v. 19(1), p.75-93, 2001
- Adlerman, E. J. & Williams, E. R. Seasonal variation of global electrical circuit. **Journal of Geophysical Research**. v. 101 n. 23 p. 29,679 – 29,688. 1996
- Anais II Seminário Gaúcho de Descargas Atmosféricas. Porto Alegre: [s.e.], 2003.
Em formato de CD.
- Anisimov, S. V.; Bakastov, S. S. & Mareev, S. A. Spatiotemporal structures of electric field and space charge in the surface atmospheric layer. **Journal of Geophysical Research**. v. 99 n. 5 p. 10,603 – 10,610, 1994
- Ayoade, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução de Maria Juraqci Zani dos Santos. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p. Título original: *Tropical Climatology Introduction*.
- Barrington-Leigh, C. P. *et al.* Sprites triggered by negative lightning discharges. **Geophysical research letters**, vol.26, n. 24, p. 3605 – 3608, 1999
- Bering *et al.* Sprite and Elve Electrodynamics. **Advanced Space Research**, vol. 30, n. 11, p. 2585 – 2595, 2002
- Boeck, W. L. *et al.* Observations of lightning in the stratosphere. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 1 p. 1465 – 1476, 1995
- Cummer, S. A. Current moment in sprite-producing lightning, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 65, p. 499 – 508, 2003
- Duquia, C. G. & Dias, M. A. F. da S. Complexo convectivo de mesoescala: um estudo de caso para o oeste do Rio Grande do Sul. In: *A meteorologia na prevenção dos desastres naturais*. 1994, Belo Horizonte. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia & Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia: sbmat & flismet, 1994 v.3 p. 610-612



Relatório Final de Atividades 2004

- Fernsler, R. F. & Rowland, H. L. Models of lightning-produced sprites and elves. **Journal of Geophysical Research.** v. 101, n. 23, p. 29,653-29,662, 1996
- Katlenburg-Lindau. **Journal of atmospheric and terrestrial physics.** v. 58 n. 15 p. 1711-1720, 1996.
- Lewis, W. W. **The Protection of Transmission Systems Against Lightning.** 2 ed. New York: Dover Publications, 421 p.
- Dataset info: LIS data Access. Disponível em < <http://thunder.nsstc.nasa.gov/lightning/cgi-bin> >, acesso em 28 de fevereiro de 2004.
- Lyons, W. A. Sprite observation above the U. S. high plains in relation to their parent thunderstorm systems. **Journal of Geophysical Research.** v. 101, n. 23, p. 29,641-29,652. 1996
- Nuvem Cumulonimbus. Disponível em < <http://www.fotonline.com.br/novidades.htm> >, acesso em 22 de março de 2004.
- Orr, J. C. de. **Entre a terra e o espaço.** Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1966. p. 62-77.
- Pinto Junior, O. *et al.* Are equatorial negative lightning flashes more intense than those at higher latitudes. São José dos Campos e Belo Horizonte. **Journal of atmospheric and terrestrial physics.** v. 59 n. 15 p. 1881-1883, 1997
- Pinto Junior, O. *et al.* Cloud-to-ground lightning flash characteristics in southeastern Brazil for the 1992-1993 summer season. **Journal of Geophysical Research.** v. 101, n. 23, p. 29,627-29,635. 1996
- Pinto Junior, O. & Pinto, I. R. C. de A. **Relâmpagos.** São Paulo: Brasiliense, 1996. 108 p.
- Pinto Junior, O. & Pinto, I. R. C. de A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil.** Belo Horizonte: [s.e.], 2000, 193 p.
- Riehl, H. **Meteorologia tropical.** Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1965
- Rycroft, M. J.; Israelsson, S. & Price, C. The Global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change. **Journal of Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics** 62, 2000, 1563 – 1576.



Relatório Final de Atividades 2004

- Sartori, M. da G. B. A circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tipo de tempo no inverno do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência e Natura**. V. 15, p. 69 – 93, 1993
- Sartori, M. da G. B. **Clima e percepção** v2. 2000. 332-361f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000]
- Tavares, F. De S. S. **Estudo da relação entre sprites e os relâmpagos das tempestades associadas**. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1999
- Tavares, M.& Santiago, M. A. M. Eletricidade Atmosférica e Fenômenos Correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 24, n. 4, 2002.
- Tonev, P.T. & Velinov, P. I. P. Quasi-electrostatic fields in the near-hearth space produced by lightning and generation of runaway electrons in ionosphere. **Advanced Space Research**, vol. 31, n. 5, p. 1443 – 1448, 2003
- Velinov, P. I. Y. & Tonev, P. T. Thundercloud electric field modeling for the ionosphere-Earth region, 1, Dependence on cloud charge distribution. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 1 p. 1477 – 1486, 1995
- Williams, E. & Stanfill, S. The physical origin of the land – ocean contrast in lightning activity. **C. R. Physique 3 (2002)** 1277 – 1292.
- Winckler, J. R. et al. New high-resolution ground-based studies of sprites. **Journal of Geophysical Research.**, v. 101, n. D3, p. 6997-7004, 1996.



ANEXOS

A. Trabalhos publicados

A.1. *“Descargas Atmosféricas no Sul do Brasil”*

Evento: III Workshop Brasileiro de Microteorologia, realizado de 26 a 28 de novembro de 2003, na cidade de Santa Maria – RS

Autores: Vandoir Bourscheidt, Fábio Marcelo Breunig, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch

A.2. *“Sistema de detecção de descargas atmosféricas do Sul do Brasil”*

III Workshop Brasileiro de Microteorologia, realizado de 26 a 28 de novembro de 2003, na cidade de Santa Maria – RS

Autores: Fábio Marcelo Breunig, Vandoir Bourscheidt, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch

A.3. *“Análise das descargas atmosféricas no Sul do Brasil a partir de dados do sensor OTD”*

VIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão – VI Mostra de Iniciação Científica e I Mostra de Extensão da UNICRUZ, realizado 28 a 30 de outubro de 2003 na cidade de Cruz Alta – RS

Autores: Fábio Marcelo Breunig, Vandoir Bourscheidt, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch

A.4. *“Introdução ao estudo de sprites, E.L.V.I.S. e blue jats”*



Relatório Final de Atividades 2004

VIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão – VI Mostra de Iniciação Científica e I Mostra de Extensão da UNICRUZ, realizado 28 a 30 de outubro de 2003 na cidade de Cruz Alta – RS

Autores: Vandoir Bourscheidt, Fábio Marcelo Breunig, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch

OBS: Por motivos adversos, os certificados foram emitidos de forma errônea e a correção dos mesmos foi solicitada, no entanto estes ainda não foram emitidos pela instituição.

B. Trabalhos a serem submetidos

B.1. “Estudo da atividade de relâmpagos no rio grande do sul em função das características geográficas”

Provável evento: 1st International Conference on Lightning Physics and Effects; International Conference on Grounding and Earthing (GROUND’2004); 4th Brazilian Workshop on Atmospheric Electricity e o 2nd Workshop of the Brazilian Lightning Detection Network, a ser realizado entre os dias 7 e 11 de Novembro, na cidade de Belo Horizonte – MG

Autores: Fábio Marcelo Breunig, Vandoir Bourscheidt, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch

B.2. “Estudo da relação entre continente e oceano na variação de descargas atmosféricas no Rio Grande do Sul”

Provável evento: 1st International Conference on Lightning Physics and Effects; International Conference on Grounding and Earthing (GROUND’2004); 4th Brazilian Workshop on Atmospheric Electricity e o 2nd Workshop of the Brazilian Lightning Detection Network, a ser realizado entre os dias 7 e 11 de Novembro, na cidade de Belo Horizonte – MG

Autores: Vandoir Bourscheidt, Fábio Marcelo Breunig, Osmar Pinto Junior, João Paulo Minussi e Nelson Jorge Schuch



Relatório Final de Atividades 2004

C. Relatório sobre o Laudo elaborado em Chapecó/SC

C.1. Síntese

Nos dias 15,16 e 17 do mês de outubro do ano de 2003 foi feito o laudo técnico referente ao obituário de 4 (quatro) reses a partir de uma descarga elétrica e sua possível inferência a linha de transmissão (230Kw), com sentido Passo Fundo – Xanxerê, na ocasião de uma tempestade que ocorreu na região. A área em questão está localizada em uma fazenda na cidade de Chapecó-SC. A necessidade do laudo é atribuída ao fato de o proprietário alegar que a linha de transmissão foi a responsável pela morte das reses, ou seja, que induziu a descarga pela rede e/ou torre de sustentação e que acabou causando a morte dos animais que, de acordo com o laudo veterinário, morreram por uma descarga elétrica. O estudo teve por objetivo a análise da possibilidade de a linha de transmissão ter relação com o fato, bem como também aumentar nosso conhecimento a respeito desses fenômenos.

Com respeito ao laudo, a análise técnica ficou a cargo do Prof. Dr. João Paulo Minussi, e com relação mais propriamente à descarga elétrica a análise ficou a cargo do Dr. Osmar Pinto Junior. Os demais integrantes da equipe ofereceram apoio a análise em todos os momentos, onde me encontrei incluído no sentido de oferecer apoio quanto à questão dos solos do local, sua formação, composição, espessura, etc.; e também oferecendo auxílio nas demais atividades realizadas no local, além de objetivar uma ampliação dos conhecimentos sobre descargas elétricas e também sobre as linhas de transmissão.

C.2. Análise descritiva

- As reses se encontravam sob um capão a cerca de 43 metros da linha de transmissão e a 152 metros da torre de sustentação da linha (torre nº 85);



Relatório Final de Atividades 2004

- O local se encontra a 649 metros do nível do mar¹ na região próxima ao meio da vertente esquerda a montante do vale, o qual é atravessado pela linha de transmissão;
- A distancia entre as torres de sustentação em cada lado do vale é em torno de 1200 metros;
- No local encontram-se duas linhas de transmissão, que seguem lado a lado a uma distância próxima dos 20 metros;
- A medida em que aumenta a distancia da torre, também aumenta a distancia entre os cabos de cobertura e a linha de transmissão, que , tendo uma diferença de quatro metros junto à torre, passam a ter em torno de 10 metros na região paralela ao capão;
- O capão possuía muitas árvores, porém com destaque uma espécie conhecida como canela “merda”, possuindo cerca de 17 metros e era a mais alta do capão;
- Na região em torno do capão e próximas a rede se encontravam muitas árvores secas, possivelmente por ocasião de descargas elétricas;
- As reses se encontravam a uma pequena distância da árvore de canela (mais alta do capão), ou seja, entre 2 e 3 metros;
- A árvore apresentava em seu topo e na sua base uma região com a casca seca ou descascada, porém continuava verde (viva);
- Com relação ao aterramento da torre, o mesmo apresentava orientação perpendicular à base da torre (45°), seguindo essa direção até uma distancia igual a do cabo externo da linha, de onde passa a acompanhar a linha até alcançar a resistividade ideal;
- Foi medido um dos aterramentos (o que se encontrava direcionado ao capão, na mesma direção na qual fora medida a distância até o capão, ou seja, 152

¹ Considerando a margem de erro do GPS em torno dos 5 metros.



Relatório Final de Atividades 2004

metros), o qual apresentava um comprimento de cerca de 12 metros, com uma profundidade relativamente pequena;

- A área apresentava rochas (expostas) do tipo basalto e um solo muito semelhante ao do planalto gaúcho, relativamente profundo²;
- Ainda próximo ao capão observava-se uma área ligeiramente pantanosa, praticamente um banhado, possivelmente resultante do aplainamento do relevo neste local;
- A região apresenta-se muito íngreme, com declividade possivelmente cotada a mais de 45° ou 100%;
- A cobertura vegetal da área apresentava-se diversificada com o predomínio de gramíneas para pastagem animal, além de muitas árvores distribuídas irregularmente e inclusive, sob a própria linha de transmissão.

C.3. Procedimentos

Em primeira instância, fez-se a análise preliminar do local do acidente, com a apreensão visual do local e aferindo-se medições de distâncias entre a linha de transmissão, a torre e o capão; medida de altura da maior árvore do capão, bem como da linha de transmissão na região paralela ao capão. Também foram obtidas inúmeras fotos do local bem como das árvores do capão, além da obtenção de amostras do solo do local, amostra de casca da árvore mais alta do capão³ (espécie de canela). Além disso foram obtidos dados empíricos dos moradores do local a respeito do acidente e outros dados relevantes, por exemplo, como se apresentava o tempo no dia do acidente. A hora do acidente, entre outros. Além dos procedimentos já expostos, também buscaremos expor o tipo de tempo relacionado com dia do acidente, identificando se o mesmo está

² De acordo com o constatado nas medições do mesmo e também pela análise de suas características.

³ A mesma apresentava-se descascada na região próxima ao topo, o que pode estar relacionado a uma descarga elétrica.



Relatório Final de Atividades 2004

relacionado à formação de uma frente ou se o mesmo se trata de um Complexo Convectivo de Mesoescala, ou ainda possui sua gênese relacionada à um ciclone frontal.

Na parte da tarde (14:00) foram feitas as medições da resistência da Torre para o solo, a cargo dos Prof. PhD. João Paulo Minussi e Prof. Ms. Luís Machado. Mais fotografias foram tiradas do local para melhor visualização da área em estudo posteriormente. Também foram obtidas amostras da profundidade do solo. Depois de feitas as medições, encaminhamo-nos até a torre do outro lado do vale para obter uma melhor visão das distâncias e variações espaciais da área.

Já as atividades do dia 17 pela manhã foram efetuadas em Xanxerê, onde se objetivou conhecer a subestação de energia responsável pela transformação da energia para voltagens menores e que também possui aparelhos contadores de descargas elétricas⁴, dos quais foram retiradas algumas fotografias.

C.4. Resultados

A partir das análises e medidas feitas no local se pode concluir que a linha de transmissão não teve relação com a morte das reses, sendo a mesma resultante, possivelmente, de uma descarga associada à árvore de Canela ou então a outro fenômeno desconhecido. O aterramento não é capaz de influenciar a uma distância tão grande, não existindo no solo mais um potencial de passo capaz de levar quatro reses a morte, tampouco a rede poderia ser responsável pela atração do raio ao capão.

Devemos considerar ainda que o capão já se encontrava fora da área de proteção da linha, que é em torno de 45° para cada lado da linha, ou seja, formando um triângulo no qual a área de proteção no solo é igual a altura da linha.

Deve-se também considerar o fato de a árvore apresentar em seu tronco, principalmente na região próxima a seu topo e também em sua base, áreas com casca seca ou então descascada, o que pode ser reflexo de uma descarga. Esta descarga teria

⁴ Esses contadores atuam de forma bastante generalizada, visto que identificam as sobre-voltagens, que não estão relacionadas necessariamente a descargas elétricas.



Relatório Final de Atividades 2004

circulado pela parte externa da árvore, causando-lhe apenas pequenos danos, fato também relacionado à capacidade de a árvore reter umidade. Esta capacidade de reter água, de acordo com suas características visuais e texturais, parecia ser grande.

Sendo a árvore um possível pára-raios e considerando que as reses se encontravam no pé da mesma, ou seja, a cerca de 3,5 metros do seu caule, é muito mais provável que elas tenham sido atingidas por um raio que foi induzido pela árvore, e não pela linha de transmissão, que se encontra a cerca de 40 metros do local e muito menos da torre, que se encontra a 152 metros do local. Mais uma consideração em relação à torre é que, ao ocorrer uma descarga, ela pode abranger um raio de até de 100 metros, e não 150 metros, o que já aumentaria a área de abrangência em 50%. Sendo então, praticamente impossível associar à mortes das reses à rede de transmissão.

A conclusão geral que pode se obter é que, caso o óbito das reses esteja realmente associado a uma descarga elétrica, a mesma só pode ter relação com a própria árvore, que já apresenta evidências realmente relevantes. O raio não escolhe lugar para cair, não tendo, portanto a necessidade de estar associado à rede de transmissão pelo simples fato de ela ser mais suscetível a descargas, estando a uma altura maior e sendo um melhor condutor. Podemos afirmar ainda que, com maior grau de certeza, um raio não pode cair sobre uma rede de transmissão e, a partir da mesma, ir em direção a árvore. Dessa forma afirmamos que o que provocou a morte das reses não tem relação com a linha de transmissão e nem com a torre de sustentação.



D. Certificados de Participação em Eventos e Cursos

III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia

Universidade Federal de Santa Maria

Certificado

Certificamos que **Vandoir Bourscheidt**
participou do **III Workshop Brasileiro de Micrometeorologia**
realizado entre os dias 26 e 28 do mês de novembro de 2003, na
Universidade Federal de Santa Maria



Prof. DR. GERVÁSIO A. DEGRAZIA
Coordenador



Prof. EDGARDO RAMOS MEDEIROS
Diretor do CCNE

Organização:
Grupo de Física da Atmosfera
UFSM

Apoio:



Orgãos Financiadores:





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **VANDOIR BOURSCHEIDT** participou do **Curso Tópicos em Observações Científicas da Cooperação Brasil-Japão** proferido pelos Dr.Kazuo Makita, Dr. Masanori Nishino e Dr.Tatsuo Torii, no dia 22 de agosto de 2003, com uma carga horária de 8 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM