



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-13031-PRE/8308**

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

Vandoir Bourscheidt\*

\*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo  
Dr. Osmar Pinto Junior



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/INPE - CNPq/MCT)**

**PROCESSO Nº 107.622/2003-3**

Vandoir Bourscheidt (UFSM, bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)

E-mail: [vandoir@lacesm.ufsm.br](mailto:vandoir@lacesm.ufsm.br)

Dr. Osmar Pinto Junior (DGE/CEA/INPE - MCT, Orientador)

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

Santa Maria, Maio de 2005



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

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

**PROCESSO Nº 107.622.2003-3**

Vandoir Bourscheidt (UFSM, bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)  
E-mail: [vandoir@lacesm.ufsm.br](mailto:vandoir@lacesm.ufsm.br)

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

Santa Maria, Maio de 2005

## DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

### Bolsista

Vandoir Bourscheidt

Acadêmico do Curso de Geografia – Licenciatura Plena

Acadêmico do Curso de Meteorologia - Bacharelado

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### Processo:

107622/2003-3

### Orientador

Dr. Osmar Pinto Junior

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas – CEA/INPE – MCT

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/INPE – MCT

### 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 derradeira importância destacar as pessoas que estiveram presentes ao longo das etapas do trabalho. Agradeço a Deus, por permitir que o trabalho fosse desenvolvido com sucesso. A minha família, pais e irmão, que sempre me incentivaram e educaram. Ao Dr. Osmar Pinto Junior, 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 no aumento do conhecimento na área, e sempre à disposição para qualquer dúvida. Ao colega e amigo Fábio Marcelo Breunig, que esteve presente em todos os momentos do desenvolvimento da pesquisa, auxiliando no que fosse possível. Ainda a todos os amigos e colegas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais que tiveram influência no decorrer da pesquisa. Assim, de forma geral agradeço a todas as pessoas que participaram no desenvolvimento da pesquisa, auxiliando direta ou indiretamente.

## RESUMO

Com o avanço tecnológico e científico nas diferentes ciências, nos deparamos cada vez mais com problemas ou questionamentos a serem solucionados e desmistificados. Neste sentido, a Eletricidade Atmosférica vem tomando grande impulso nos últimos anos, especialmente pela criação de redes de detecção de relâmpagos e ainda pela ampliação das redes existentes, o que cria mecanismos para a proteção especialmente de linhas de transmissão de energia, auxilia no monitoramento de tempestades, e ainda pode prevenir obituários. Sob outra ótica encontramos o grande desenvolvimento de pesquisas com relação aos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera, que teve grande impulso na última década e que estão relacionados ao desenvolvimento das atividades inerentes a este relatório. Assim, prossegue a apresentação dos fenômenos estudados, sua relação com a Eletricidade Atmosférica e o CEAG. Posteriormente, identificam-se as atividades relacionadas ao acompanhamento dos preparativos para a Campanha Sprite Brasil, a ser realizada no Sul do Brasil, tendo como base às cidades de Santa Maria, Uruguaiana e Santa Rosa. Esta campanha se dará com o lançamento de balões com equipamentos de medidas, e monitoramento de tempestades com câmeras de alta sensibilidade. Com relação aos trabalhos realizados, cabe ressaltar o uso de dados dos sensores instalados no OES e dos sensores orbitais que, embora não tenham dados de muita qualidade, fornecem resultados para uma visão preliminar das características espaciais dos relâmpagos sobre o Rio Grande do Sul. Estes estudos devem trazer novas perspectivas na análise destes fenômenos, bem como comprovar os resultados alcançados e ainda identificar possíveis efeitos sobre as atividades humanas.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. JUSTIFICATIVA.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 Objetivo Geral.....	13
3.2 Objetivos Específicos.....	13
4. METODOLOGIA DO ESTUDO.....	14
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
5.1. HISTÓRICO DA ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA.....	15
5.2. ASPECTOS TEÓRICOS.....	19
5.2.1 Campo Elétrico Atmosférico Global (CEAG) e Eletricidade Atmosférica.....	19
5.2.2. Camadas Atmosféricas.....	21
5.2.3. Formação de Tempestades.....	24
5.2.4. Eletrificação das nuvens.....	27
5.2.5. Tipos de Relâmpagos.....	30
5.2.5.1. Relâmpagos Nuvem-Solo (N-S).....	32
5.2.5.2. Relâmpagos solo-nuvem.....	35
5.2.5.3. Relâmpagos Intra-nuvem.....	36
5.2.6. Índice Ceráunico.....	36
5.2.7. Uso de satélites no monitoramento de relâmpagos.....	37
5.2.8. Redes de Detecção de Relâmpagos.....	39
5.2.9. Proteção contra Relâmpagos.....	40
5.2.10. Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera.....	43
5.2.10.1. Sprites.....	43
5.2.10.2. E.L.V.E.S.....	45
5.2.10.3. Blue Jats.....	46



5.2.10.4. Precursores .....	46
5.2.10.5. Sprites e relâmpagos N-S positivos .....	47
5.2.10.6. Sprites e relâmpagos N-S negativos .....	47
5.2.11. Campos Elétricos associados à sprites .....	48
5.2.11.1. Fortes campos quase eletrostáticos (QESF) .....	48
5.2.12. Equipamento ótico no levantamento de dados .....	50
6. RESULTADOS .....	52
7. CONCLUSÕES .....	55
8. BIBLIOGRAFIA .....	57
ANEXOS .....	61
Publicações .....	61
A. Trabalhos Submetidos .....	61
A.1. “Contrast In Lightning Activity Over Land and Ocean at Rio Grande do Sul - Brazil”	61
A.2. “Lightning Activity as a Function of the Geographical Characteristics at Rio Grande Do Sul – Brazil” .....	67
A.3. “Uso de Informações Sobre Relâmpagos para monitoramento e previsão de eventos atmosféricos” .....	76
A.4. “Eletricidade Atmosférica – Sistemas de Detecção na região Central do Estado do Rio Grande do Sul” .....	85
A.5. “Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos” .....	86
A.6. “Formação de fulguritos no Rio Grande do Sul” .....	87
A.7. “Relâmpagos – Importância e aplicações” .....	88
B. Trabalhos a Submeter .....	89
B.1. “Aplicação de recursos do software Surfer na Eletricidade Atmosférica” .....	89
B.2. “Um caso de tempestade em Santa Maria – RS – Brasil” .....	94
C. Relatório sobre a viagem à Uruguaiana e Santa Rosa .....	103



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Experimento Realizado por Franklin .....	16
Figura 2 - Modelo simplificado do Campo Elétrico Atmosférico Global.....	20
Figura 3 - Camadas da Atmosfera terrestre .....	23
Figura 4 – Desenvolvimento de uma tempestade isolada .....	25
Figura 5 – Desenvolvimento de uma tempestade organizada .....	26
Figura 6 – Diferentes sistemas de tempestade.....	26
Figura 7 – Modelo de eletrificação bipolar e respectivos campos associados .....	28
Figura 8 – Processo de Eletrificação de Nuvens .....	29
Figura 9 – processo indutivo de separação de cargas.....	30
Figura 10 – Processo de Eletrificação Termoelétrico.....	30
Figura 11 - Tipos de relâmpagos e cargas associadas .....	32
Figura 12 – Relâmpagos N-S e relâmpagos solo-nuvem .....	35
Figura 13 – Exemplo de mapa isoceráunico.....	37
Figura 14 – Observações dos instrumentos LIS e OTD para o Globo .....	38
Figura 15 – NLDN, com os sensores IMPACT e LPATS. ....	40
Figura 16 – Teoria do Cone de Proteção .....	41
Figura 17 – Teoria da esfera rolante.....	42
Figura 18 – <i>Sprites</i> , <i>Elves</i> e Campos Elétricos Associados .....	44
Figura 19 – Primeira imagem colorida de um <i>Sprite</i> .....	45
Figura 20: Modelo, materiais e resultados do experimento.....	49

## INTRODUÇÃO

Este relatório procura expor os resultados obtidos no período referente à bolsa de Iniciação Científica do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT. Desta forma, serão abordados aspectos referentes ao conhecimento adquiridos, aos trabalhos já elaborados e a serem concluídos até o fim do período, bem como o acompanhamento da preparação para a Campanha Sprite Brasil. Em conjunto dar-se-ão pesquisas, busca por literaturas pertinentes, coletas de dados e imagens sobre esses Fenômenos Luminosos de Alta Atmosfera, bem como maiores conhecimentos quanto a descargas elétricas no seu sentido geral.

As implicações das Descargas Atmosféricas sobre os homens e especialmente sobre suas atividades são muito evidentes, sendo estas, portanto, passíveis de proteção e de prevenção. Grandes esforços vêm se desenvolvendo, especialmente envolvendo equipamentos de alta tecnologia e grande sensibilidade, meios de comunicação, linhas de transmissão de energia, no sentido de se estudar os relâmpagos e suas conseqüências. Adjunto às pesquisas, novos fenômenos acabam sendo descobertos, como é o caso dos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera, dos quais destacam-se os *sprites*.

Estes fenômenos elétricos de Alta Atmosfera também se conceituam como descargas elétricas atmosféricas, mas que, no entanto, apresentam características distintas das descargas convencionais [28]. Os estudos atuais se dão no sentido de identificar suas implicações sobre os sistemas de comunicação e equipamentos sensíveis, principalmente na Média e Alta Atmosfera.

Os *sprites*, assim como os demais fenômenos elétricos atmosféricos, estão intimamente relacionados às tempestades ocorrendo no Planeta, que somam cerca de 2000 a todo instante [25]. Os *sprites* estão ainda intimamente associados aos relâmpagos. Existem diferentes tipos de relâmpagos e com características distintas, recebendo cada um deles uma denominação específica, ou seja, relâmpagos nuvem-solo (N-S), solo-nuvem (S-N), intra-nuvem, entre nuvens, da nuvem para o ar e da nuvem para cima. Entre esses relâmpagos, observa-se uma relação freqüente entre os *sprites* e os relâmpagos N-S positivos [28].

Os fenômenos elétricos da Atmosfera estão intimamente relacionados ao Campo Elétrico Atmosférico global (CEAG). Os relâmpagos, juntamente com os fenômenos de Alta Atmosfera irão formar esse campo, onde as tempestades se encontram como geradores, garantindo a Eletricidade Atmosférica constante.

Essas tempestades têm origem nos fenômenos meteorológicos que ocorrem a todo o momento, os quais dependem necessariamente da temperatura e da umidade – elementos fundamentais na formação das nuvens e possíveis tempestades. Esta temperatura, que decai com a altitude a uma média de 6,5°C por quilometro e atinge valores mínimos na Tropopausa [4], é importante na convecção do ar, bem como na condensação do vapor de água. A condensação também 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.

São os processos internos da nuvem (correntes de ar, choques de partículas de granizo) que levam ao carregamento elétrico e a ocorrência dos relâmpagos. Diversas teorias buscam explicar o processo de carregamento e os centros de carga dentro da nuvem considerando, para tal, processos indutivos (gravitacionais) ou não-indutivos (termoelétricos) [28].

Quando o campo elétrico gerado nas nuvens atinge valores extremos (da ordem de 1 milhão de volts por metro), a rigidez do ar é quebrada e ocorre o relâmpago [22].

Quando se trata dos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera, deve-se destacar também a sua relação com o CEAG e, portanto, sua associação com as tempestades. Eles estão condicionados a um aumento do campo elétrico (campos quase-eletrostáticos e campos gerados por pulsos eletromagnéticos), associado geralmente a descargas N-S positivas, e aos picos de atividades dos relâmpagos.

Os *sprites* estão na sua maior parte relacionados a grandes sistemas convectivos, os chamados Sistemas Convectivos de Mesoescala e Complexos Convectivos de Mesoescala.

Os trabalhos desenvolvidos atualmente com relação aos *sprites* são especialmente com base na observação destes com recursos de vídeo e medida de



campos, com o uso de câmeras de alta sensibilidade e sensores de campo elétrico, no intuito de identificar características e processos ocorrendo durante as tempestades. E a partir dessas informações e estudos, dar a melhor resposta às necessidades de proteção de equipamentos. Existem ainda experimentos que buscam reproduzi-los em laboratório, oferecendo mais detalhes sobre a sua ocorrência.

Dessa forma, com a aquisição de conhecimento teórico, com o acompanhamento dos preparativos para a Campanha Sprite Brasil e da instalação da Rede de Detecção de Relâmpagos no Sul do Brasil (Projeto SIDDEM), já em processo de conclusão, pretende-se aumentar os conhecimentos e oferecer bons resultados aos estudos em andamento.

## 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 às 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. E Este âmbito conjuntamente fascinante e aterrador nos enche de curiosidade e leva ao aprofundamento do conhecimento neste campo científico.

Embora a finalidade do estudo possa se dispersar em vários caminhos, é na idéia de que o estudo possa oferecer meios de proteção às pessoas, além da redução de prejuízos nos mais diversos setores da economia (setor energético, de comunicações e de alta tecnologia), é 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

Aumentar os conhecimentos e contribuir com os estudos na área de Eletricidade Atmosférica.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Continuar os estudos na área de Eletricidade Atmosférica, tanto do ponto de vista teórico como experimental;
- Aprofundar o estudo dos Fenômenos Luminosos de Alta Atmosfera, especialmente em relação aos *sprites*;
- Participar na preparação para a Campanha Sprite Brasil;

#### 4. METODOLOGIA DO ESTUDO

No sentido de proceder com as atividades, buscou-se alcançar os objetivos propostos, destacando-se dois momentos: um com relação aos aspectos teóricos e outro para o acompanhamento prático/técnico. Como resultados desses dois momentos, destacamos a elaboração de artigos e publicações.

Do ponto de vista teórico, seguiu-se de forma a aumentar o conhecimento, através da revisão de literatura e acompanhamento de palestras e eventos da área. Com relação aos aspectos práticos destaca-se o acompanhamento da preparação para a Campanha Sprite Brasil 2005 em todos os seus aspectos. Além disso, foram utilizados dados dos equipamentos relacionados a descargas elétricas instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra e de sensores espaciais da NASA – LIS e OTD. Oferece destaque ainda o acompanhamento da instalação da Rede de Detecção de Relâmpagos do Sul do Brasil, já nas etapas conclusivas.

Os dados obtidos a partir do site da NASA (*National Aeronautic and Space Administration*), mais especificamente pelo *GHCC (Global Hydrology and Climate Center) Lightning Team*, resultaram em análises e na elaboração de artigos e publicações. Outros dados foram obtidos a partir dos equipamentos instalados no OES e resultantes da cooperação CRSPE/INPE/MCT; UFSM com Instituições do Japão.

Dessa forma, com o uso dos dados dos diferentes equipamentos foram elaborados trabalhos relacionados a descargas elétricas atmosféricas.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. HISTÓRICO DA ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA

Os estudos sobre eletricidade começaram por volta do final do século XVIII, e foi a partir daí que se passou a observar os relâmpagos não mais pelo seu sentido mitológico, mas sim, lógico. É possível dizer que isso foi no momento em que William Wall, em 1708, observou uma faísca que saltava de um pedaço de âmbar e identificou-a como semelhante a um relâmpago [23].

A partir daí se instaurou a idéia 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. Foi nesse momento que se passou a estudar a natureza elétrica da Atmosfera.

Foi Benjamin Franklin o primeiro a propor a natureza elétrica da Atmosfera, através de um experimento composto por um mastro metálico isolado e um fio condutor aterrado onde, aproximando-se o fio aterrado do mastro metálico, saltaria uma faísca do mesmo, comprovando a natureza elétrica da Atmosfera [23]. 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.

Neste mesmo ano Lemonnier repetiu o experimento de Franklin, porém, desta vez usando 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 [23].

Franklin propôs novamente uma forma de identificar a natureza elétrica do relâmpago em 1752, através do seu famoso experimento com uma pipa (Figura 1), a qual 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 [23].

Franklin ainda realizou outro experimento para investigar a estrutura elétrica das nuvens, que 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 (Figura 1)[23].

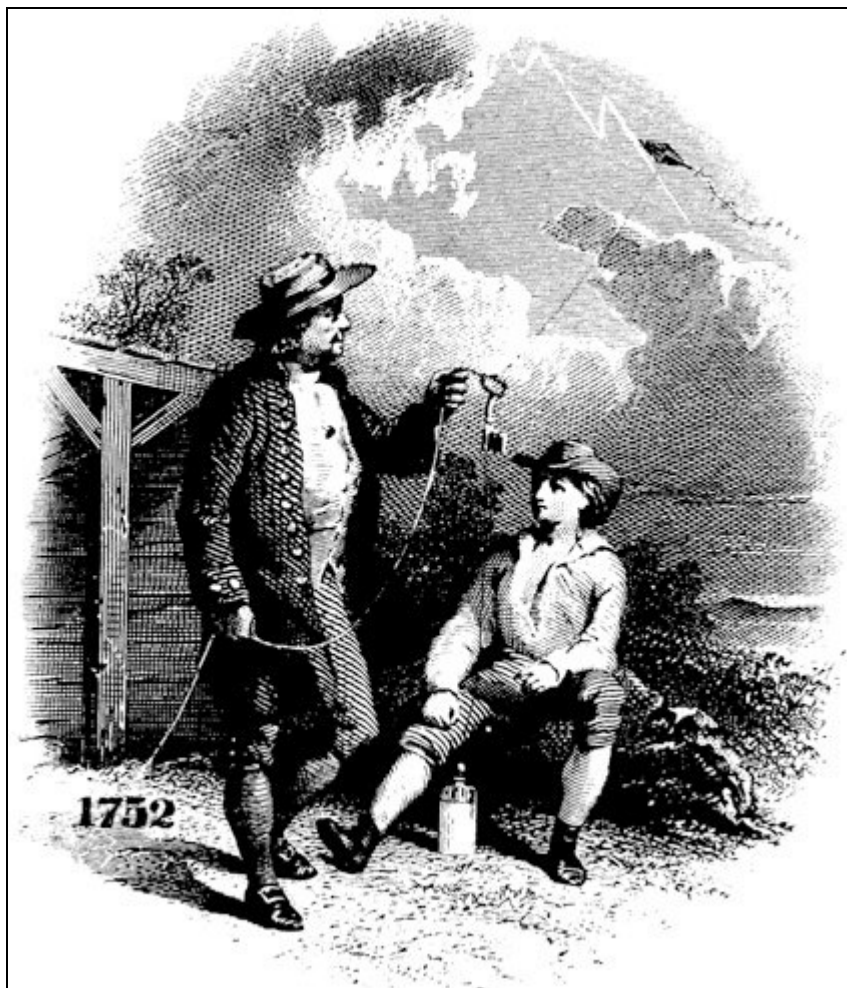


Figura 1 – Experimento Realizado por Franklin

Fonte: The bakken Library and Museum

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 [23].

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 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 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. 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 [23].

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 tornado 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 [23].

Em 1885, J. Elster e H. F. Geitel propuseram a primeira teoria para explicar a estrutura elétrica das tempestades. Em meados de 1888, H. Hirn 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 N-S, através da medida do campo magnético residual em rochas basálticas próximas ao local de incidência do relâmpago. 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 [23].

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.

Com o avanço da tecnologia, novos tipos de descargas passaram a ser observados, especialmente após a década de 90. 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 [28]. 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 suas primeiras imagens foram obtidas durante as 4<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> 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 este, 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 [28]. A partir dos exemplos obtidos com o MLE, estabeleceu-se que a seqüência de eventos visíveis que originam um *sprite* tem início com uma descarga elétrica na nuvem de tempestade. 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.

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.

A partir daí, inúmeros documentos e imagens em vídeo foram feitos, seja a partir de ônibus espaciais ou por telescópios no alto de montanhas apontando na direção das tempestades, demonstrando tratar-se de um fenômeno global, ocorrendo em todos os continentes. Além dos *sprites*, outros Fenômenos Transientes 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 e medidas desses fenômenos, possibilitando assim um estudo mais detalhado dos mesmos.

## 5.2. ASPECTOS TEÓRICOS

Os *sprites*, assim como os *blue jats*, *elves* e Precursores Azuis, podem ser considerados como Fenômenos Luminosos de Alta Atmosfera, integrantes do sistema MTI (Mesosfera, Termosfera e Ionosfera) que possuem relação íntima com as descargas elétricas e as tempestades. Assim, apresentam forte relação com o CEAG (considerando as regiões com tempestades e as de tempo bom).

### 5.2.1 Campo Elétrico Atmosférico Global (CEAG) 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 condutor”. Em torno de 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 [25]. Essas variações são da ordem de horas, dias ou até sazonais.

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. Nessa região, os principais responsáveis pela condutividade são pequenos íons produzidos por raios cósmicos primários. Próximo à superfície, esta condutividade é grande o suficiente para dissipar qualquer campo entre cinco e 40

minutos [25]. 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, ocorrendo variações devido aos processos de fotoionização solar [25].

Portanto, correntes horizontais fluem livremente e continuamente da Ionosfera para a superfície terrestre durante a Atmosfera de tempo bom. Durante as tempestades, correntes ascendentes saem do topo das tempestades em direção à Ionosfera e também da Terra para as nuvens de tempestades, fechando assim o circuito (Figura 2).

No entanto, ocorrem variações constantes na intensidade do campo elétrico, especialmente pela influencia cósmica e solar. Nestas deve-se considerar 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 [24].

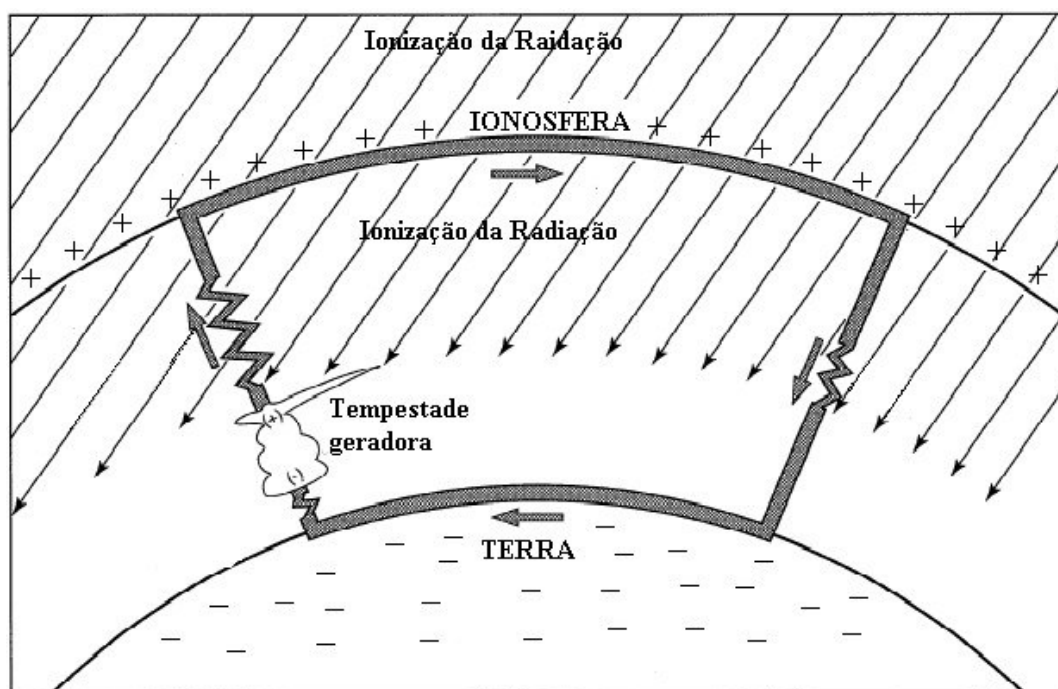


Figura 2 - Modelo simplificado do Campo Elétrico Atmosférico Global  
Fonte: adaptado de: Rycroft *et al* (2000)

Outro aspecto importante e com relação direta aos processos de eletrificação das nuvens, é a variação de aerossóis e de poluentes na Atmosfera, que causam diversas mudanças nas tempestades, aumentando o número de núcleos de condensação dentro da nuvem, levando a formação de gotas menores e leves e que permitem um aumento no número de descargas, com pouca chuva [18].

### 5.2.2. Camadas Atmosféricas

De acordo com as suas diferentes características, 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 camada mais próxima da superfície, na qual a temperatura tem uma função decrescente com a altitude, estendendo-se até a Tropopausa: camada limite entre a Troposfera e a Estratosfera, onde há a inversão da temperatura (atingir 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 [28].

A Troposfera contém aproximadamente cerca de 75 % da massa gasosa total da Atmosfera e virtualmente a totalidade do vapor d'água e de aerossóis, e é onde a maior parte dos fenômenos relacionados com a dinâmica de formação de nuvens e ocorrência de precipitação ocorre. A Troposfera pode ainda ser dividida em três camadas com características distintas: a camada laminar, a camada de atrito e a Atmosfera livre [4].

Já na Estratosfera 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 e também pela 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 [4]. Esta camada está limitada pela Estratopausa, em torno dos 50 km. A Estratosfera e a Troposfera constituem a Atmosfera inferior.

Na terceira camada, denominada Mesosfera, a temperatura volta a decrescer com a altitude. Essa temperatura atinge um mínimo na Mesopausa, em torno de 85 – 95 Km,

com temperaturas da ordem de  $-100^{\circ}\text{C}$  [28]. A pressão torna-se muito baixa, e diminui de 1 mb na base da Mesosfera a 0,01 mb na Mesopausa.

Acima se encontra a 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  $730^{\circ}$  a  $1230^{\circ}\text{C}$ , dependendo para tal da atividade solar [28].

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  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$  – 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 o 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 [27].

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.

A baixa e média Atmosfera (Atmosfera Neutra) são fracamente condutoras devido à 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 [23]. Uma melhor representação das camadas da Atmosfera pode ser observada a partir da Figura 3.

Ao contrario da Atmosfera Neutra, na Atmosfera superior existem, além dos íons positivos e negativos, uma grande quantidade de elétrons livres gerados pelo processo de fotoionização. A Atmosfera ali forma a Ionosfera, situada entre 60 e 1000 km Ela ainda é subdividida em três regiões: D, E, F, com densidades eletrônicas crescentes. 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 [28].

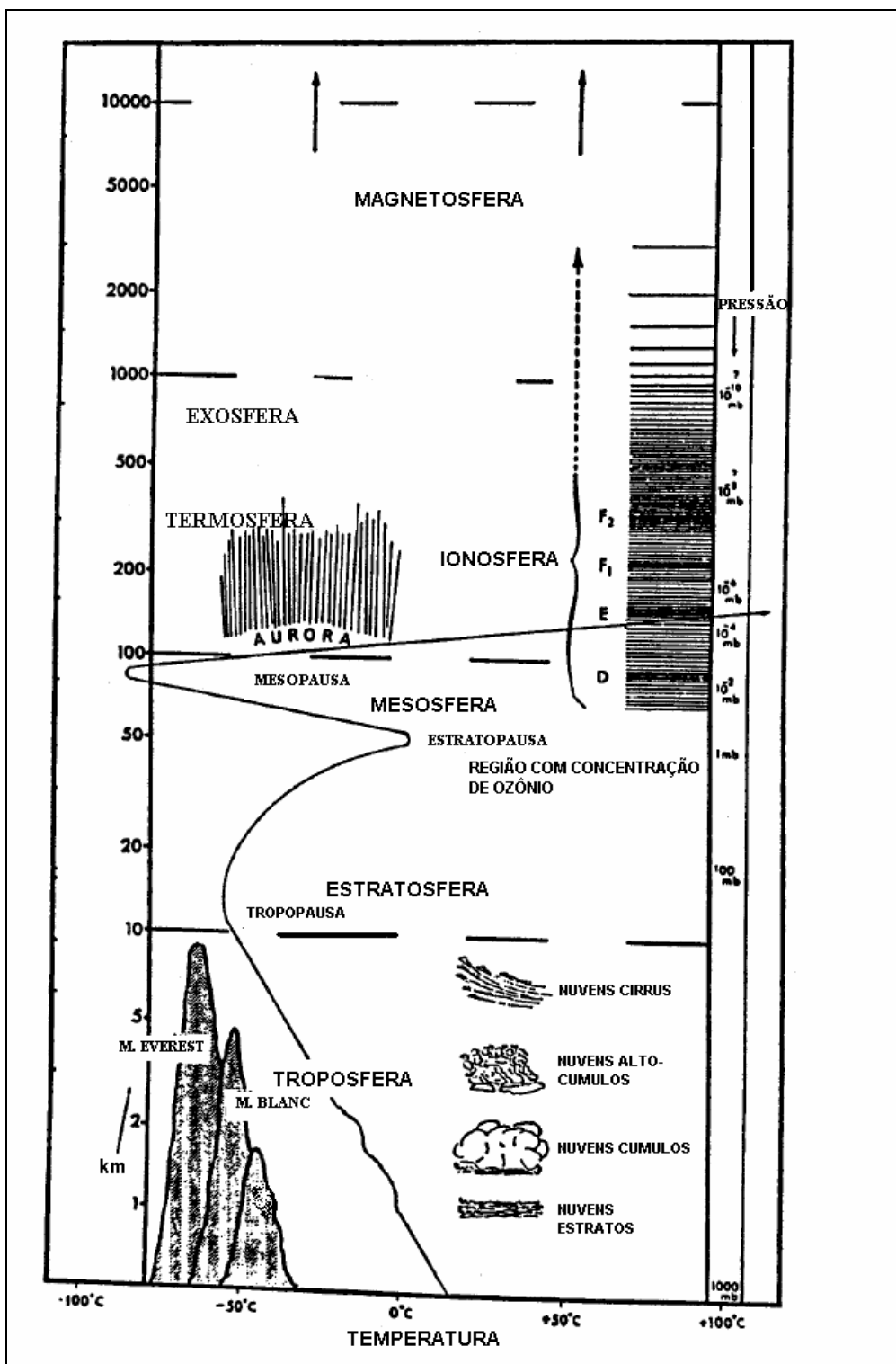


Figura 3 - Camadas da Atmosfera terrestre  
 Fonte: adaptado de Gobbi, (1997) *apud* Tavares (1999)



Acima 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 [22]. 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 [28].

### 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 tempestades e relâmpagos está diretamente associada à alta temperatura e umidade. Sua ocorrência pode se dar por processos convectivos de origem térmica, próximo à região equatorial ou em médias latitudes, como no caso do Norte da Argentina e Oeste do Rio Grande do Sul; pelas frontogêneses, mais conhecidas como *frentes frias e quentes*, oriundas do contato de massas de ar com diferentes características; e ainda pela ascensão orográfica, cuja interferência de conjuntos montanhosos como a Serra do Mar (litoral do Sudeste) e Planalto da Borborema (litoral Nordestino) levam a ocorrência de muitas tempestades e relâmpagos. Pode ainda ocorrer que estes diferentes tipos de tempestades se associem.

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 relâmpagos associadas às frentes frias [1].

Na região Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocorre a formação de grandes tempestades pela convecção térmica, originando grande número de descargas elétricas, com nuvens do tipo *Cumulunimbus*. Embora estas nuvens sejam as mais

comuns, outros tipos de nuvens produzem relâmpagos, como as nuvens Cumulus Congestus, Stratocumulus, Altostratus e Nimbostratus [23].

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

As nuvens de tempestade caracterizam-se por apresentar grande extensão vertical (tamanho), fortes correntes verticais de ar e gotículas de água super-resfriada ou partículas de gelo [22]. Essas nuvens podem crescer na forma de tempestades isoladas ou como tempestades organizadas (Figuras 4 e 5), sendo as segundas causadoras de grandes tempestades, com ventos e chuvas fortes.

Considerando os Fenômenos Luminosos de Alta Atmosfera, observa-se que a maioria dos *sprites*, *elves*, *blue jats* e outros fenômenos ocorrem associados aos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), e mais especificamente aos 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 [28].

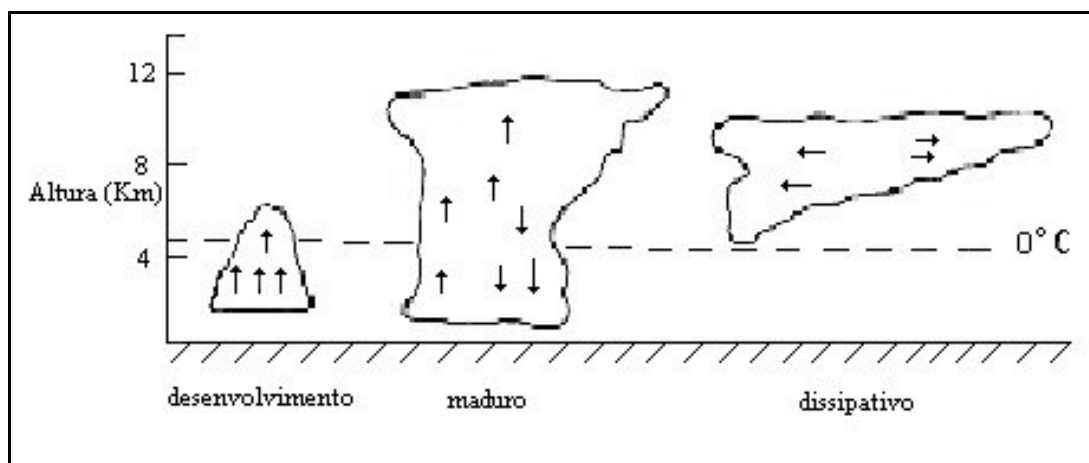


Figura 4 – Desenvolvimento de uma tempestade isolada

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

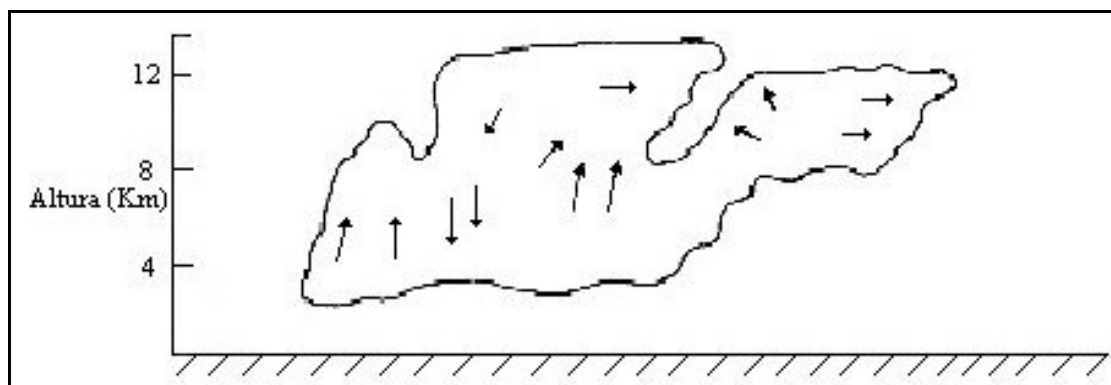


Figura 5 – Desenvolvimento de uma tempestade organizada

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

Os SCMs 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. 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.

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.

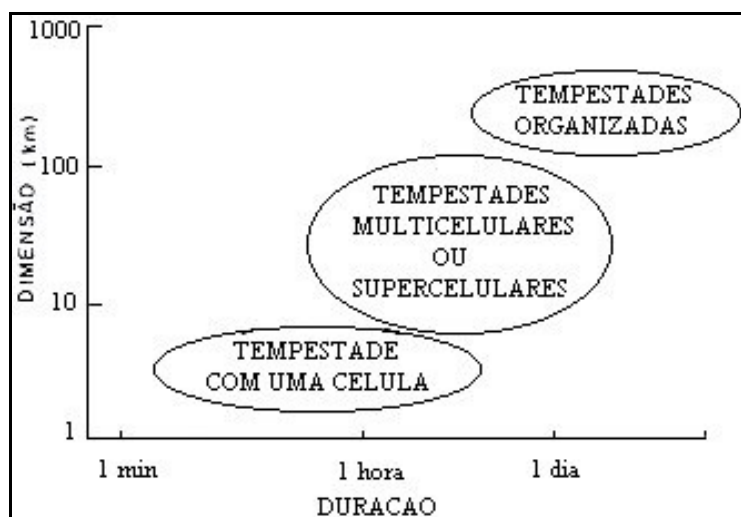


Figura 6 – Diferentes sistemas de tempestade

Fonte: Adaptado de Adaptado de Pinto Jr. &amp; Pinto (2000).

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, 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<sup>2</sup>, tendo uma escala grande quando 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 [28], 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 uma grande quantidade de relâmpagos.

Acredita-se que no Brasil haja uma incidência de mais de 100 mil relâmpagos por ano [22], dos quais grande parte ocorre próxima a região equatorial. Além da ZCIT, muitas tempestades resultam 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 [22].

#### **5.2.4. Eletrificação das nuvens**

Existem várias teorias para explicar o processo de eletrificação das nuvens e que foram evoluindo à medida que novos métodos para investigar a estrutura das nuvens foram sendo feitos. Mas ainda não se tem total certeza da forma e da estrutura elétrica da nuvem. Entre as teorias propostas atualmente as mais aceitas são relacionadas à gravidade e à temperatura, que correspondem respectivamente ao processo indutivo e ao processo termoelétrico de polarização de cargas [28].

Com relação à gravidade (teoria indutiva) destaca-se a teoria da eletrificação pela polarização das cargas nas gotas de chuva. As gotas menores e cristais de gelo, mais leves, são levados pelas correntes ascendentes 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 7).

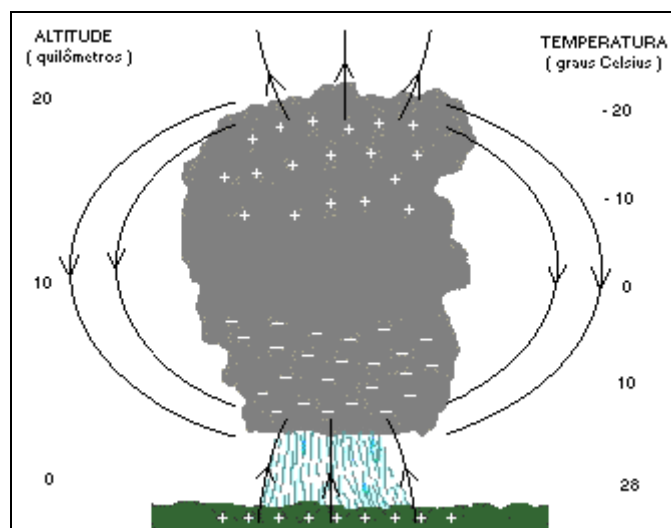


Figura 7 – Modelo de eletrificação bipolar e respectivos campos associados  
Fonte: adaptado de: [www.fisica.ufc.br/raios/cb.gif](http://www.fisica.ufc.br/raios/cb.gif)

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, 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 8 e 9) [16]. 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 [22].

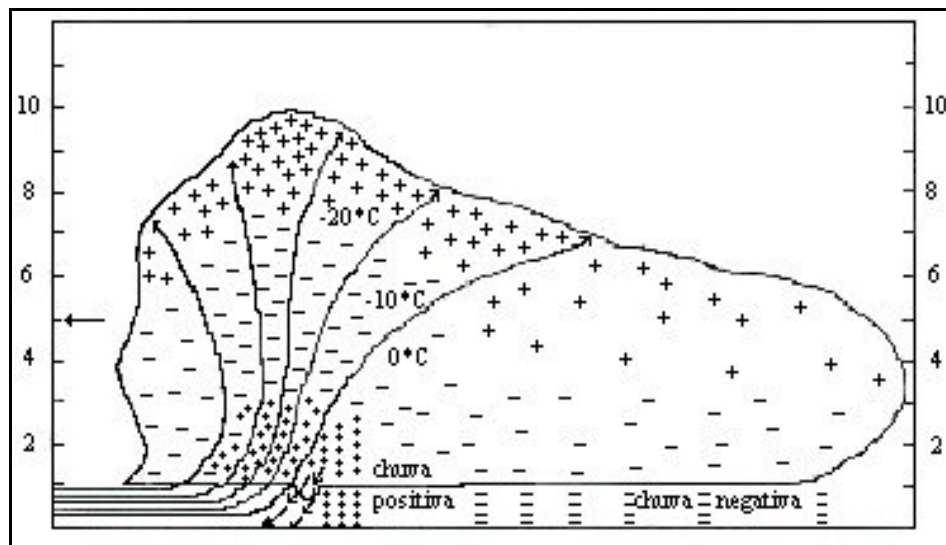


Figura 8 – Processo de Eletrificação de Nuvens  
Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

Acredita-se 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 [23].

A outra teoria, relacionada à temperatura (Figura 10), proposta na década de 70, indica que a formação dos centros de carga esteja relacionada à temperatura de inversão de carga, tida em aproximadamente  $-15^{\circ}\text{C}$ , gerando 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. [27].

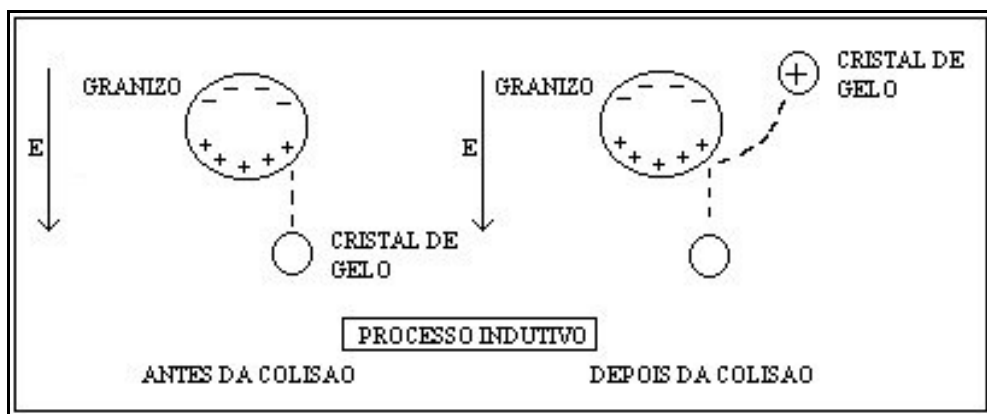


Figura 9 – processo indutivo de separação de cargas  
Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

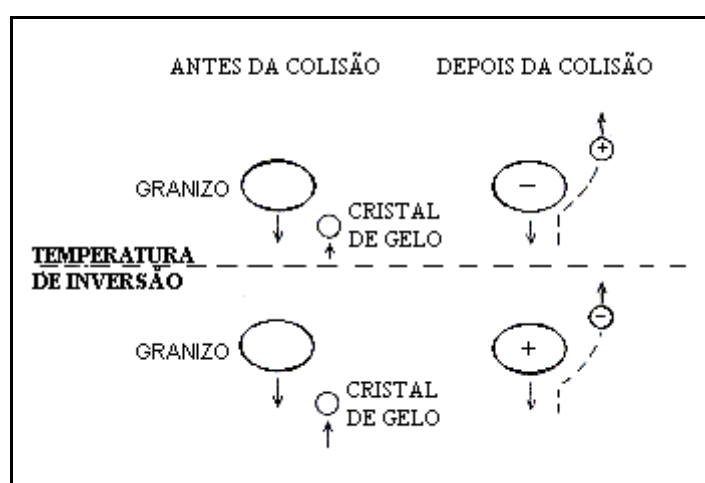


Figura 10 – Processo de Eletrificação Termoelétrica  
Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000)

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 [23].

### 5.2.5. Tipos de Relâmpagos

Quando as cargas acumuladas nas nuvens atingem um valor em torno de 1 milhão de V/m, ou seja, quando o campo elétrico excede a rigidez dielétrica do ar é que ocorre a descarga. 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 ou pela polarização das gotículas de água pelo campo elétrico ambiente, o facilitando a quebra da rigidez [23]. 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 [22].

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 kA (registros apontam correntes superiores a 200 kA). Como resultado, uma carga de 20 C (Coulomb) em média 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 e a pressão atinge valores de 10 atmosferas. A pressão criada é, pois, tal 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 entre 50 e 100 hertz [23].

Quanto aos tipos de descargas pode-se citar os relâmpagos **nuvem-solo** e **solo-nuvem**, que são os mais conhecidos devido às suas conseqüências 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 cima**. A Figura 11 mostra os diversos tipos de descargas, bem como as cargas polarizadas durante o processo.



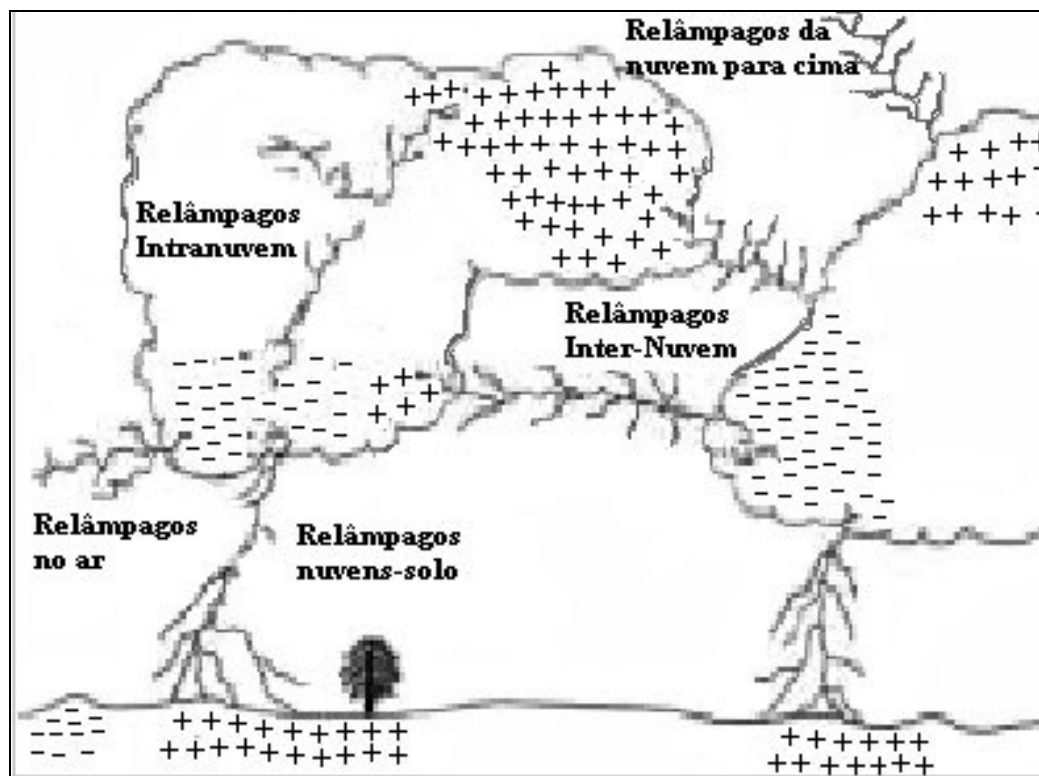


Figura 11 - Tipos de relâmpagos e cargas associadas

Fonte: adaptado de Tavares (2002)

#### 5.2.5.1. Relâmpagos Nuvem-Solo (N-S)

Esse tipo de relâmpago é o mais estudado atualmente. Em função do sinal da carga transferida ao solo, podem ser relâmpagos **N-S negativos** ou relâmpagos **N-S positivos**. Os primeiros transferem cargas negativas da nuvem para o solo e os últimos transferem cargas positivas da nuvem para o solo, o que equivale a dizer que eles transferem elétrons do solo para a nuvem.

A maior parte dos relâmpagos N-S que ocorrem são negativos – cerca de 90%. Eles perduram entre variações de 0,1 a 2 segundos. Os relâmpagos N-S costumam apresentar ramificações de cima para baixo, seguindo um caminho tortuoso e com um grande número de pequenos segmentos até o solo [23].

Embora o número de relâmpagos N-S positivos ocorra com uma frequência muito inferior a dos negativos, os mesmos apresentam uma frequência variável, podendo até superar os relâmpagos N-S negativos em alguns casos. Isto ocorre devido a vários

fatores, entre os quais se destacam a latitude e a estação do ano, que tem influencia na altura da base da nuvem; e as variações verticais do vento com a altura: quanto mais fortes estes forem 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 fator relacionado à 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 ocorrência de relâmpagos positivos.

Os relâmpagos N-S são formados por diversas etapas. A primeira etapa é 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 10 cm, 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. Cada etapa percorre 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 formando varias ramificações das quais geralmente apenas uma atinge o solo [23].

Quando o líder escalonado se aproxima da superfície, produz-se um intenso campo elétrico no solo, fazendo com que deste saiam cargas positivas (descargas conectantes), geralmente saindo de objetos sobre o solo.

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 de corrente médio no solo de 30 a 40 kA. No entanto, 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 – de 3 a 6 em média - denominadas de descargas de retorno subseqüentes, definindo o relâmpago múltiplo. Já foram registradas mais de 40 descargas de retorno em um único relâmpago [22]. 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. A descarga que abrirá caminho para a nova descarga de retorno é chamada de líder contínuo, que passa através do canal já ionizado, não apresentando ramificações e 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. 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 [23].

Com relação aos relâmpagos N-S positivos, 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 N-S positivos é levemente maior que a dos relâmpagos N-S negativos. Da mesma forma, a taxa de carga positiva transferida ao solo – ou carga negativa transferida para a nuvem – e a energia são normalmente maiores neste tipo de relâmpago. Isto por eles transferirem carga contínua de longa duração com maior frequência, o que faz com que os mesmos sejam

mais destrutivos que os relâmpagos negativos, e por isso chamados de relâmpagos quentes.

Em SCMs 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 [23].

#### 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 polaridade da carga transferida ao solo. Eles apresentam geralmente menos descargas de retorno em relação aos relâmpagos N-S. No caso dos relâmpagos solo-nuvem positivos (Figura 12), esses apresentam geralmente carga contínua com pulsos sobrepostos, sem haver descargas de retorno. Esses relâmpagos iniciam-se por um líder escalonado negativo que parte do solo em direção à nuvem.

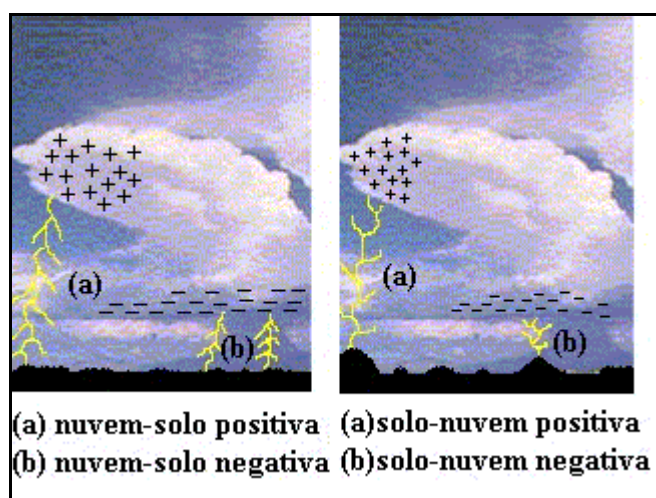


Figura 12 – Relâmpagos N-S e relâmpagos solo-nuvem

Fonte: adaptado de [www.fotonline.com.br/novidades.htm](http://www.fotonline.com.br/novidades.htm)

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 N-S. Por vezes, relâmpagos solo-nuvem podem dar origem a relâmpagos N-S, como uma espécie

de descarga conectante, e que ao se encontrarem podem produzir picos de corrente mais intensos que os próprios N-S, sendo então denominados de relâmpagos mistos.

### **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 11), portanto partindo da região de cargas negativas para a região de cargas positivas, transportando carga negativa, com correntes de poucos quiloampères.

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, devido especialmente às dificuldades atuais em realizar medições que não sejam em solo [23].

Esse tipo de relâmpago costuma ser o primeiro a ocorrer durante as tempestades, precedendo os N-S por vários minutos. O total de relâmpagos intra-nuvem pode ter variações de 3% a 100% durante as tempestades [23].

### **5.2.6. Índice Ceráunico**

Quando ainda não havia satélites ou sistemas de detecção de relâmpagos capazes de detectar as descargas ocorrendo ao redor do mundo a todo o momento, usavam-se índices ceráunicos para o total de relâmpagos que ocorriam. Acredita-se que as primeiras observações desse tipo foram feitas nas décadas de 40 e 50, baseadas nos dias de tempestades por ano em um dado local, elaborando-se então a distribuição global de relâmpagos em termos de densidade de relâmpagos. Esses dias de tempestades são determinados quando um observador, em um dado local, registra a ocorrência de trovão.

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 [23].

Esse índice determina normalmente a quantidade de relâmpagos N-S ou solo-nuvem. Embora o método não mostre o total de descargas que realmente ocorrem, ele é capaz de mostrar a variação a nível global e regional do total de descargas. Os mapas isocerâunicos são obtidos pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) com base em observações feitas no mundo inteiro (Figura 13).

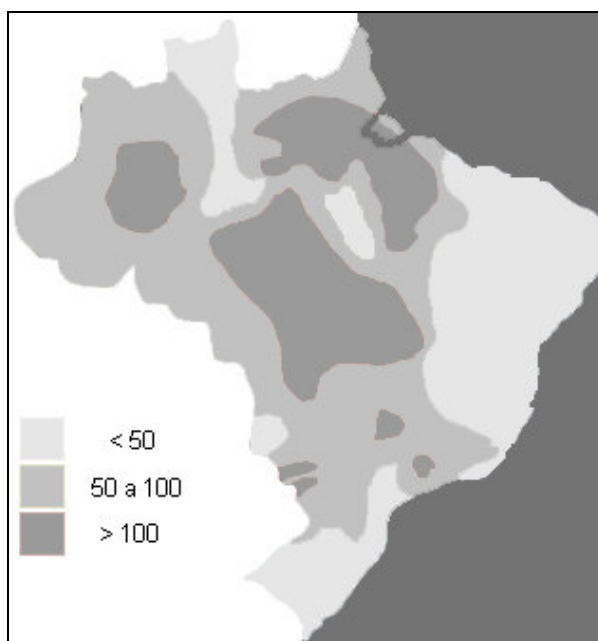


Figura 13 – Exemplo de mapa isocerâunico

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

### 5.2.7. Uso de satélites no monitoramento de relâmpagos

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e o aprimoramento das técnicas de medidas de tempestades, houve um grande crescimento na Eletricidade Atmosférica. Entre essas novas tecnologias destaca-se o satélite do projeto TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), usado para estudar fenômenos de mesoescala, como a dinâmica, convecção e microfísica das tempestades. Os dados de relâmpagos, obtidos a partir dos sensores LIS (*Lightning Imaging Sensor*) e OTD (*Optical Transient Detector*). O sensor

LIS registra a ocorrência do fenômeno a partir da energia radiante, não permitindo distinção entre os tipos de relâmpagos, além de não registrar todas as descargas e nem a todo o momento (muitas tempestades deixam de ser imageadas), imageando faixas de 550 por 550 km da superfície terrestre por até 80 segundos a cada passagem. Isto causa uma grande generalização nos seus resultados.

O sensor OTD, a bordo do satélite MicroLab-1, teria a missão de 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. 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. Da mesma forma que o sensor LIS, ele não é capaz de diferenciar os relâmpagos. A Figura 14 mostra uma imagem dos dados desses sensores a nível global.

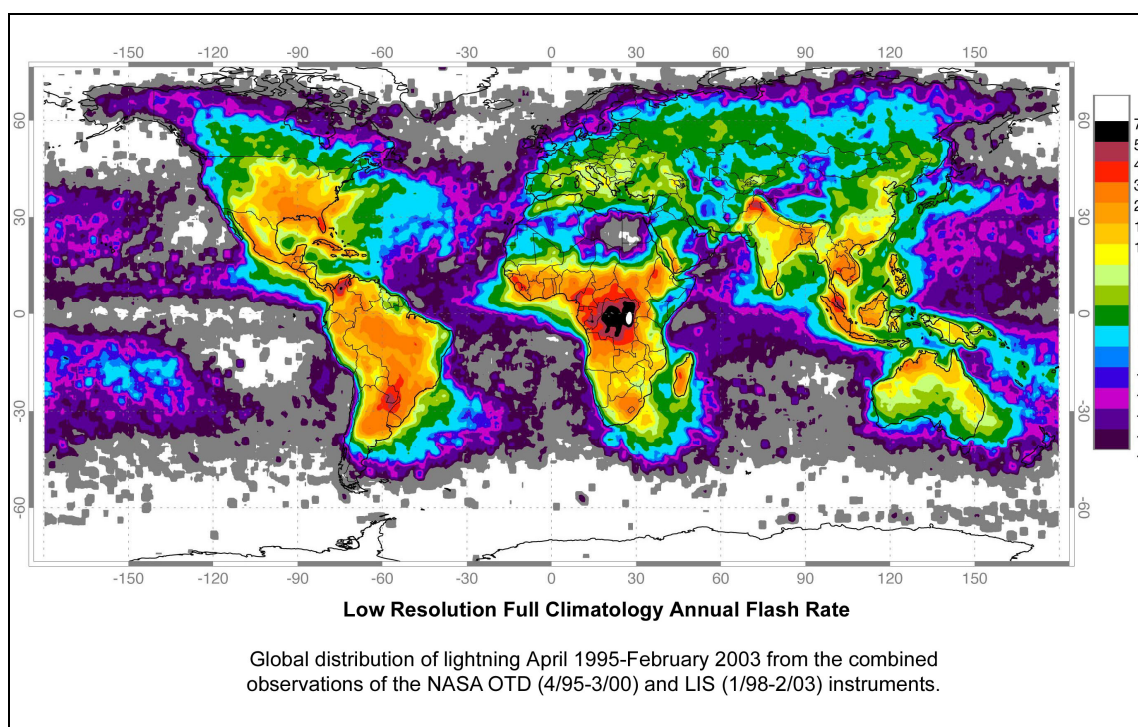


Figura 14 – Observações dos instrumentos LIS e OTD para o Globo  
Fonte: Lightning & atmospheric electricity research at the GHCC.

### 5.2.8. Redes de Detecção de Relâmpagos

A maneira mais eficiente de determinar a variação de descargas atualmente é através das redes de detecção de relâmpagos. Elas caracterizam-se por uma rede de sensores localizados em diversos pontos da superfície, distinguindo os diferentes tipos de descargas.

No entanto, esses sistemas de detecção ainda não cobrem completamente a superfície terrestre, sendo restritos a alguns países e a determinadas regiões dos mesmos. As maiores redes de detecção se encontram nos Estados Unidos/Canadá e na Europa.

A maior rede atualmente é a Rede Nacional de Detecção de Relâmpagos dos Estados Unidos/Canadá (NLDN, *National Lightning Detection Network*), que é formada por um conjunto de sensores do tipo LPATS-III (*Lightning Positioning and Tracking System*); IMPACT (*Improved Accuracy From Combined Technology*), e nos últimos 4 anos a nova geração dos sensores IMPACT – ESP, somando um total de 113 sensores espalhados pelo país (Figura 15).

Os sensores detectam as componentes eletromagnéticas resultantes das descargas e, a partir da interpolação de vários sensores, determinam a posição e o instante de ocorrência da descarga. Essa interpolação é feita por métodos específicos, sendo os mais conhecidos o *Time-Of-Arrival* (TOA) e o *Magnetic Detection Finding* (MDF) [28].

Esses mesmos sensores (LPATS, IMPACT) estão instalados no Brasil onde, atualmente, a rede é integrada por 25 sensores que cobrem a região Sudeste, parte da região Sul e parte da região Centro-Oeste do Brasil. Neste ano, está prevista a integração das redes das regiões Sul e Norte do país, ou seja, Siddem – Sistema Integrado de Detecção de Descargas Atmosféricas e Eventos Críticos, com uma rede de cinco sensores, resultado de um consórcio entre empresas do setor elétrico do Sul do Brasil; LDN – *Lightning Detection Network*, do Sivam – Sistema de Vigilância da Amazônia, com uma rede 14 de sensores; a Nasa, através do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), com uma rede de quatro sensores em Rondônia; instalação de sete sensores do Inpe nas regiões Sul e Centro-Oeste; e mais dois sensores de última geração que FURNAS está adquirindo, que serão instalados no Tocantins e na Bahia,



respectivamente. Com a expansão, a Rindat contará com 57 sensores no total, tornando-se a segunda maior rede do mundo [38]. O uso dessas redes de detecção é de grande importância no desenvolvimento de pesquisas, especialmente para um melhor entendimento dos relâmpagos, bem como dos fenômenos associados, como é o caso dos *Sprites*, *Elves* e *Blue Jats*.

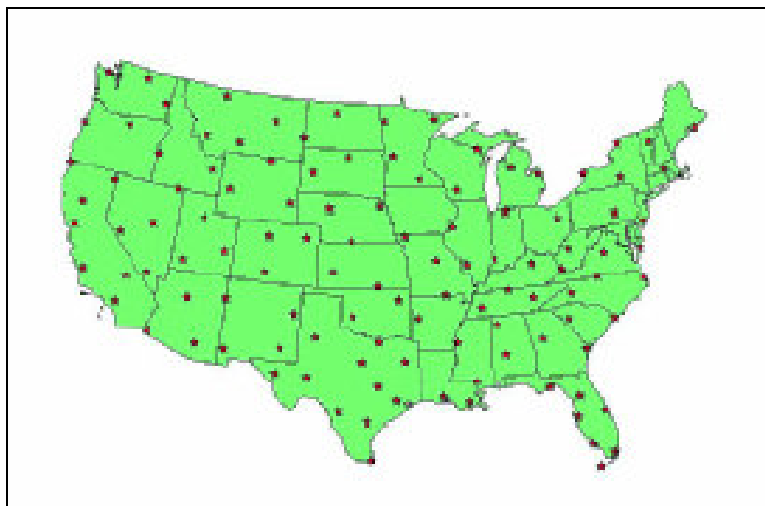


Figura 15 – NLDN, com os sensores IMPACT e LPATS.  
Fonte: Michael J. Grogan (2004)

### 5.2.9. Proteção contra Relâmpagos

São inúmeros os casos de óbitos e gastos dispendiosos causados por relâmpagos ao longo do ano. Isso pode muitas vezes ser resolvido a partir da instalação de pára-raios, bem como com o aumento de informações a seu respeito às pessoas. Os óbitos estão sempre mais ligados a regiões descampadas, sendo a maior parte das vítimas ligada a atividades agrícolas ou a qualquer atividade a céu aberto.

Quanto maior a concentração da população, maior a probabilidade de ocorrência de mortes. Porém nas cidades, estas são amenizadas pelos pára-raios nos edifícios.

Os pára-raios foram sugeridos primeiramente por Benjamin Franklin, por volta de 1750 e usados por volta de 1752 na França e Estados Unidos. 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 os potenciais gerados no sistema e no solo [23].

A região de proteção de um pára-raios é definida como a zona de proteção, tida em termos de eficiência de o pára-raios 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 indica uma eficiência de 90% quando definida uma região cônica com ângulos  $45^\circ$  a partir da ponta 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  $90^\circ$  (Figura 17). Geralmente possui uma área de proteção inferior à obtida pelo cone de projeção.

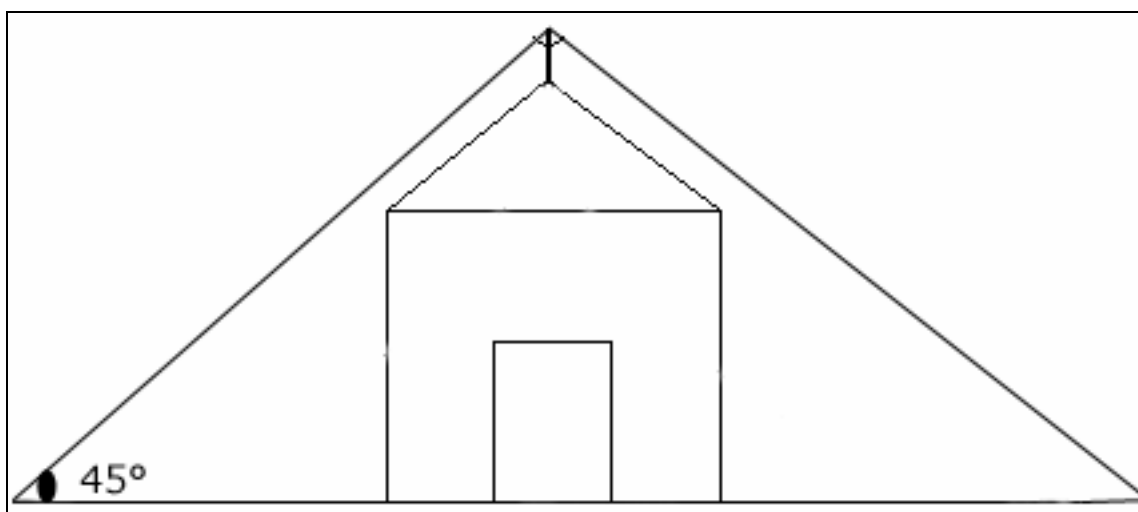


Figura 16 – Teoria do Cone de Proteção  
Fonte: Adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2000).

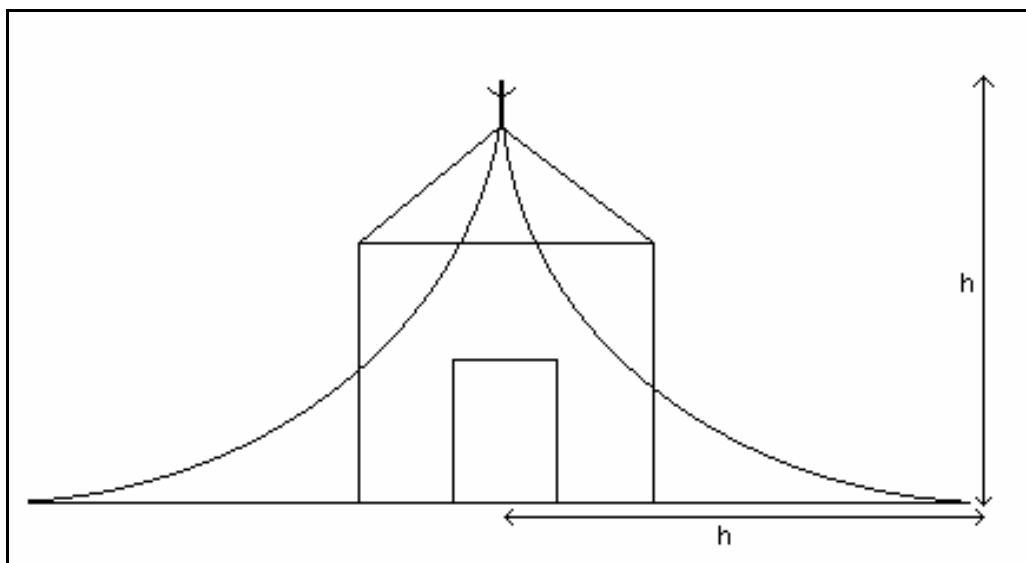


Figura 17 – Teoria da esfera rolante

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

O pára-raio mais comum é o do tipo Franklin, descrito por uma haste metálica aterrada. 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, dependendo de certos cuidados. Também se destaca a proteção encontrada nos barcos, descrita por um cabo condutor junto ao mastro, 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.

Os relâmpagos ainda podem causar danos às instalações elétricas e aos equipamentos eletrônicos pelas chamadas sobretensões, que são surtos de tensão causados pelas descargas atmosféricas durante as tempestades. 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, ocorrem ao longo dos anos.

### **5.2.10. Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera**

Os Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera ainda são uma incógnita em muitos de seus aspectos, visto que o seu estudo ainda é muito recente. Muitos estudiosos têm dedicado seu tempo para tais fenômenos, buscando compreendê-los e também descobrir suas influências na alta Atmosfera e sobre o homem.

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 [30], que são explicados separadamente adiante. Esses modelos mostram que os campos elétricos causam a excitação da Atmosfera Neutra, originando os fenômenos condizentes. A Figura 18 mostra os fenômenos e os campos elétricos associados aos mesmos.

#### **5.2.10.1. Sprites**

Estes fenômenos são o complemento do CEAG. Tratam-se de fenômenos óticos que ocorrem entre a Mesosfera e a Ionosfera, atingindo altitudes de até 95 km de extensão, com uma média máxima de altitude de 88 km [27]. Eles estão associados às tempestades e aos relâmpagos geralmente do tipo N-S positivos, podendo ocorrer ainda associados aos relâmpagos “aranha” e a relâmpagos do tipo N-S negativos.

Os *sprites* apresentam usualmente uma cor avermelhada, apesar de muitas pessoas verem eles em outras cores devido a grande velocidade de ocorrência e conseqüente não-formação de imagem distinguível pelo homem. Eles são conhecidos como *red sprites* (Figura 19).

Apenas é possível ao homem fazer uma distinção visual dos fenômenos mais luminosos, visto que ocorrem em média em menos de 1 segundo. Só foi possível

visualizar de forma mais adequada esses fenômenos em vídeo a baixa velocidade e com sensores óticos de alta sensibilidade.

Ele pode ser dividido em níveis ou regiões, sendo que a mais brilhante, denominada de cabeça ou “*head*”. Logo acima se encontra 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 os “*tendrils*” ou “tentáculos” [28].

Os mesmos possuem uma altura estimada em 40 km. 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 apenas formam emissões de vida curta, sendo resultado de transições rápidas [28].

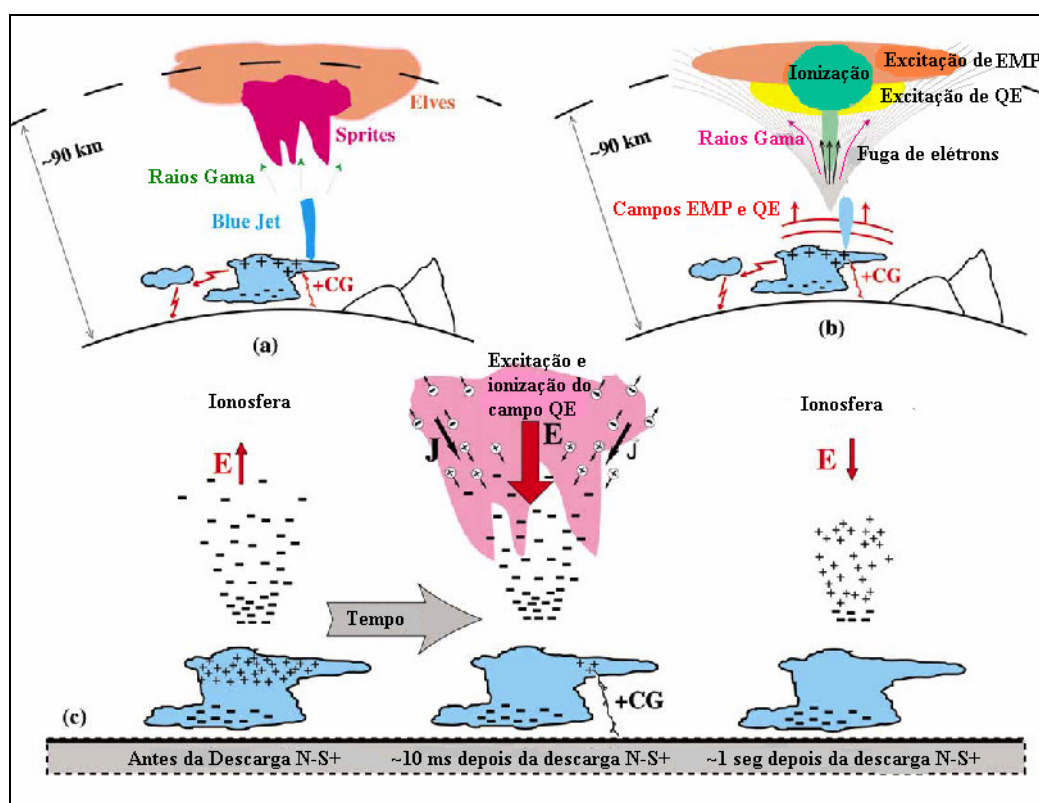


Figura 18 – *Sprites*, *Elves* e Campos Elétricos Associados

Fonte: adaptado de Inan (2002).

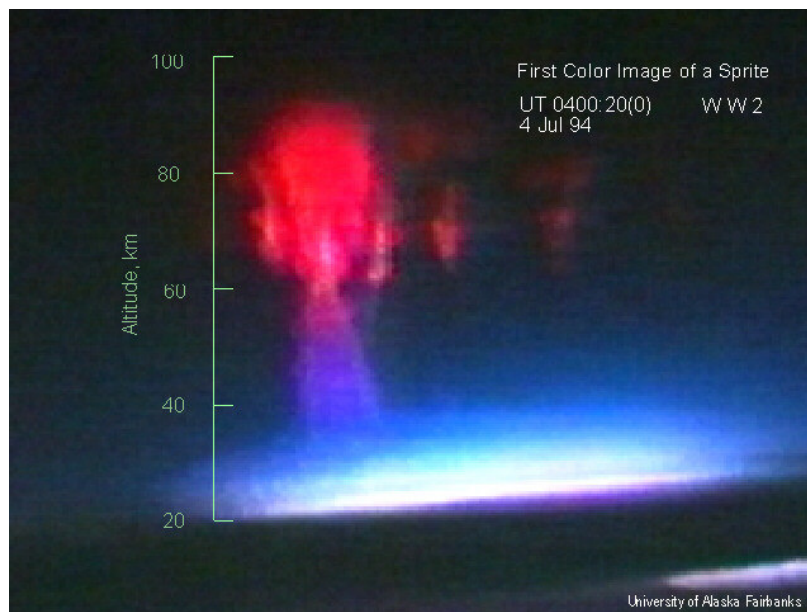


Figura 19 – Primeira imagem colorida de um *Sprite*.

Fonte: Alaska University Fairbanks.

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[28].

Esses fenômenos ocorrem associados a tempestades com grande desenvolvimento vertical, onde ocorre grande número de relâmpagos N-S positivos, aos quais esses fenômenos mais se associam. Sua frequência é relativamente baixa em relação aos relâmpagos normais, sendo que estudos indicam a ocorrência de um *sprite* para cada 200 relâmpagos que ocorrem no mundo [28].

Estudos mais atuais identificaram uma certa diferença no espaço/tempo – em geral num espaço de dezenas de quilômetros – entre os *sprites* e relâmpagos associados. Isto poderia ser explicado pela formação de Sistemas Convectivos de Mesoescala com forte atividade convectiva, com a formação de ondas gravitacionais, que perturbariam a condutividade e os campos resultantes [29].

#### 5.2.10.2. E.L.V.E.S.

E.L.V.E.S. (Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations From Electromagnetically Pulsed Sources) são emissões luminosas de cor vermelha, com um

formato anelar e extensão vertical entre 100 e 300 km, junto à camada D da ionosfera, com uma natureza provavelmente química. Possuem duração média de 1ms e estão associados a relâmpagos N-S positivos de grande intensidade, ocorrendo em resposta a alguns destes. A intensidade de descarga para que ocorram *elves* é muito maior do que a intensidade do relâmpago necessária para que ocorram *sprites*.

Eles sempre antecedem ao início dos *sprites*, podendo ser seguidos por eles ou não. Esses fenômenos ocorrem associados aos *sprites*, porém em descargas com grande corrente, ou seja, acima de 60 kA [7].

### 5.2.10.3. *Blue Jats*

Tratam-se de ejeções óticas das regiões eletricamente ativas logo acima das nuvens de tempestade [30], podendo ser feixes de carga positiva ou de carga negativa, dependendo da polaridade do relâmpago. Formam feixes de luz azul que saem do topo das tempestades e se propagam para cima em cones com ângulo médio de 14, 7° [28]. Eles atingem uma altitude terminal em torno dos 40 km, perdendo o brilho e contraste gradualmente após os 30 km, perdurando em média por 200 ms após o seu início. Acredita-se que eles resultem das moléculas e íons do N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. O valor para tais gases é, respectivamente, de 77% e 11% do total da composição da Atmosfera nesta região [28].

### 5.2.10.4. *Precursores*

Esses fenômenos se assemelham muito aos *blue bats*, 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 [28].

Embora não haja relação direta com descargas intra-nuvens, N-S positivas ou negativas, sua região de ocorrência é, no geral, a mesma área associada aos relâmpagos N-S negativos. Esta relação se mostra similar nos *blue jats*.

Acredita-se que a forte convecção ligada ao granizo durante as tempestades é que produza as descargas N-S negativas e a carga positiva do topo da tempestade, a qual dá origem aos precursores. Assim, tempestades com precipitação de granizo são as principais formadoras destes fenômenos, sendo os precursores observados com frequência durante esses eventos.

#### **5.2.10.5. *Sprites e relâmpagos N-S positivos***

De acordo com as pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, os *sprites* estão mais relacionados a relâmpagos N-S positivos. 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. 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 desses fenômenos.

Os *sprites* estão associados aos relâmpagos com picos de corrente mais elevados, sendo que, enquanto a maioria dos relâmpagos possuem uma faixa de corrente entre 10 e 20 kA, os relâmpagos associados à *sprites* mantêm uma média de corrente entre 40 e 50 kA [27].

#### **5.2.10.6. *Sprites e relâmpagos N-S negativos***

Embora estejam associados aos relâmpagos positivos, sua ocorrência não se limita a esses, estando por vezes associados a outros tipos de descargas. Barrington-Leigh *et al* (1999) identificaram *sprites* associados a descargas N-S negativas, observando uma associação íntima entre estes, 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. Tavares (2003) também encontrou associações entre *sprites* e relâmpagos N-S negativos, demonstrando que estas associações não são tão raras.

### **5.2.11. Campos Elétricos associados à *sprites***

Considerando o processo de formação dos *sprites*, observa-se que a emissão ótica é produzida por processos distintos dos que ocorrem nos relâmpagos. 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. Estes processos são explicados por diferentes teorias, expostas a seguir.

#### **5.2.11.1. Fortes campos quase eletrostáticos (QESF)**

Como já foi exposta anteriormente, a formação dos *sprites* está intimamente associada aos campos formados acima das nuvens de tempestade, dos quais se pode destacar os fortes campos quase eletrostáticos gerados na Atmosfera após relâmpagos positivos por sucessiva redistribuição das cargas induzidas no espaço. Estes campos causam um significativo aquecimento e modificações da densidade de elétrons e condutividade elétrica na Atmosfera.

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 [31]. 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 [30].

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 gerados pelo relâmpago, gerando uma ionização secundária [7]. 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.

Novas teorias foram feitas mais atualmente, de forma mais generalizada a partir de elementos chaves das teorias anteriores, construídas em torno dos canais de plasma na Mesosfera. Ela se baseia no crescimento de um fino canal (*streamer*) ionizado entre eletrodos, onde fótons seriam emitidos por átomos excitados pelas avalanches de elétrons associadas a este canal [29].

Com relação a coloração, afirmações dão conta de que a cor vermelha dos *sprites* é resultante da excitação do  $N_2^+$ , especialmente pelos fortes campos elétricos gerados sobre as que, por sua vez, aceleram os elétrons com baixa densidade na mesosfera, que colidem com as moléculas de  $N_2$ , resultando na emissão da luz vermelha. Mais estudos sobre *sprites* e sua coloração foram feitos por Williams (2004), onde os resultados reafirmam a associação destas emissões com a colisão de elétrons livres do canal de plasma com moléculas de nitrogênio neutras (Figura 20).

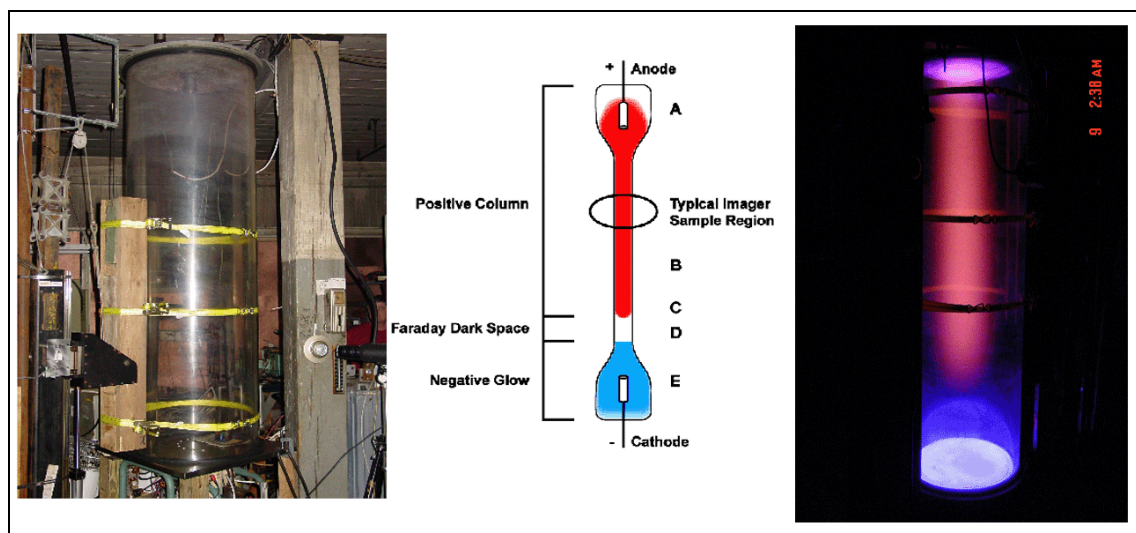


Figura 20: Modelo, materiais e resultados do experimento.

Fonte: Williams, 2004.

Este modelo foi feito em um experimento de laboratório e mostra um tubo bipolar, onde a coloração vermelha representa a coluna positiva e a coloração verde a região negativa.

### 5.2.12. Equipamento ótico no levantamento de dados

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

Estes equipamentos óticos geralmente são câmeras com grande resolução temporal e grande resolução espacial e com grande qualidade de imagem. Tavares (1999) utilizou em seu trabalho câmeras Isocon na obtenção de imagens com boa resolução temporal, ou seja, 50 imagens por segundo (20 ms), e uma câmera CCD com fins de melhor resolução espacial, dada em 1024 x 1024 pixels, com definição de eventos até 650 km de distancia. Hoje já estão sendo utilizadas câmeras com até 2000 imagens por segundo. Outros equipamentos, estes para investigar as características da cor vermelha, são filtros especiais centrados em uma determinada frequência.

Ao longo da última década passou-se a fazer inúmeras campanhas para coletar imagens dos *sprites* e demais Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera, das quais muitas foram feitas nos Estados Unidos. Nestas campanhas foram utilizados outros equipamentos, como câmeras de vídeo de baixo nível de luz (LLTV, *Low-light-level video*) colocadas no alto de montanhas, e que são extremamente sensíveis na captação da luminosidade. Dentre as campanhas realizadas pode-se citar a campanha denominada “Sprites94”, sendo que após ela é que se atribuiu o nome *sprites* aos fenômenos relatados. Nela se usaram equipamentos de filmagem a bordo de aviões ou então em bases de observação no solo.

Outra campanha para estudo dos *sprites* foi a “1999 Sprites Balloon Campaign”, integrando coleta com balões à medidas no solo. Esta campanha foi realizada no Estado do Colorado, nos Estados Unidos, integrando os dados com os da rede nacional de detecção de relâmpagos para fazer análises e relações temporais dos eventos [7].

A bordo dos balões são colocados equipamentos que medem 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 localização do balão, etc. Foram e são estas campanhas que levam a um maior conhecimento destes fenômenos, bem como das características elétricas da alta Atmosfera.

## 6. RESULTADOS

Em seqüência as propostas admitidas à bolsa de Iniciação Científica, decorrentes da renovação do projeto, prosseguiu-se de forma a acrescentar novos conhecimentos aos adquiridos no período anterior (2003/2004), com a busca, leitura e análise de outras referências, prescritas na bibliografia. Em paralelo, se fez o acompanhamento de trabalhos práticos, discussões em grupo, elaboração de artigos, além da participação em eventos relativos à Eletricidade Atmosférica.

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.

No desenvolvimento prático, destaca-se o acompanhamento nos preparativos para a realização da Campanha *Sprite* Brasil.

Estes preparativos se referem primeiramente à busca de apoio em instituições – PUC/Uruguaiana e UNIJUI/Santa Rosa – no prosseguimento da Campanha. Este se refere especialmente no apoio logístico para a instalação de câmeras especiais de alta sensibilidade capazes de detectar estes fenômenos a grandes distâncias mencionadas na revisão teórica, além é claro de outros equipamentos necessários para medições e análises. Para tal apoio, prosseguiu-se às cidades e instituições, onde se obteve uma boa aceitação, e se observou a disposição de todos os serviços/meios necessários à realização do levantamento de dados.

Num segundo momento teve-se a visita de Elisete Rinke dos Santos e Nilton Benedito Reno, do Setor de Lançamento de Balões do INPE, nos dias 15, 16 e 17 de Dezembro de 2004, onde se deu a pré-determinação do local a ser usado para o lançamento dos balões com os sensores e equipamentos de medidas. Nesta pré-determinação foram apontados dois locais – um no OES (Observatório espacial Sul), em São Martinho da Serra, RS; e outro junto ao prédio do CRSPE, no Campus da UFSM, em Santa Maria, RS.

Embora da visita às cidades e instituições e da pré-determinação do sítio de lançamento dos balões, a data para a realização da Campanha ainda não está definida, tendo ainda que serem realizados processos de ordem política.

Além disto, aprimorou-se o conhecimento dos equipamentos instalados no OES, com o apoio dos Dr. Kazuo Makita (Tokyo University) e Tatsuo Torii (Japan Nuclear Cycle Development Institute), nas visitas realizadas em setembro de 2004 e em Março de 2005. Os equipamentos referem-se especialmente ao detector de relâmpagos, campo elétrico e detector unidirecional de muons. Ainda teve o acompanhamento de diversas palestras, realizadas e ministradas por diferentes pesquisadores e em diferentes locais.

Com relação direta á análise de dados, fez-se uso de diferentes softwares para analisar as descargas elétricas. Entre estes softwares destacamos o Surfer, Terrawiew e MapInfo. Com o uso de dados do Sensor LIS (Ligthning Imaging Sensor) e a aplicacao dos recursos destes softwares tornou-se possível uma análise mais detalhada dos dados, com destaque para os dados do Rio Grande do Sul, usando uma base georeferenciada do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Destes softwares, o mais utilizado foi o surfer, estando os demais ainda em fase de aprendizagem na busca pelos melhores resultados.

Dessa forma, cabe ressaltar o trabalho considerando as aplicações do software surfer e ainda as análises preliminares sobre o Rio Grande do Sul, onde foram encontrados bons resultados nas aplicações do software, embora os dados não ofereçam grande confiança. Além da boa aplicação do software, foi possível fazer boas análises sobre as condições do Rio Grande do Sul.

Em outro trabalho desenvolvido durante o período referente às atividades, buscou-se relação 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 quatro anos (1998 a 2002), buscando um melhor entendimento da dinâmica e das características dos relâmpagos no Sul do Brasil. Juntamente, torna-se importante mencionar o trabalho sobre os Fulguritos, que são cristais ou “corpos rochosos”, resultantes dos relâmpagos. Quando este atinge o solo, faz fundir-se a sílica devido às altas temperaturas, formando



estas estranhas formas vítreas. Outros trabalhos elaborados referem-se ao uso de informações de relâmpagos para monitorar e prever eventos atmosféricos., a importância e aplicação dos relâmpagos e o uso de sensores de superfície. Estes trabalhos podem ser vistos nos materiais em anexo.

Dessa forma, foram feitas apresentações em eventos na área, onde cabe destacar o Ground'2004, evento de grande prestígio internacional e do qual participaram grandes pesquisadores sobre Eletricidade Atmosférica. Além disso, também se teve a participação em cursos e palestras de interesse e em áreas afins.

## 7. CONCLUSÕES

Nos últimos anos os estudos referentes aos relâmpagos têm ganhado novo impulso, especialmente com relação aos Fenômenos Transientes de Alta Atmosfera. Estes últimos, integrando o CEAG, trouxeram um novo impulso ao problema fundamental da Eletricidade Atmosférica, levando a inúmeros estudos que se tem hoje.

Por isso da importância da realização de campanhas para a obtenção de dados desses fenômenos ainda pouco conhecidos (nos seus aspectos mais complexos) no meio científico.

Na conclusão das atividades, destacamos o enriquecimento no que se refere às descargas atmosféricas no seu sentido mais amplo, tendo que a obtenção de novos conhecimentos, tanto com referencia ao enriquecimento teórico como experimental, nos trouxe novas informações e possibilitou a elaboração de trabalhos na área. A atividade prática por suas vez se deu através do uso de softwares e equipamentos para a análise de dados, ou seja, através do acompanhamento de outras atividades. Entre estas outras atividades destacam-se o a preparação para a campanha.

Quanto aos trabalhos realizados com os diferentes sensores instalados no OES ou pelos sensores orbitais da NASA, destacamos os bons parâmetros analíticos que estes dados fornecem que, embora não tenham uma alta qualidade dos dados, podem servir para identificar as características dos relâmpagos sobre o Rio Grande do Sul, bem como fazer associações com os aspectos meteorológicos atuantes no local. Isto pode ser bem identificado na pequena relação entre os relâmpagos e a Serra Geral que, sob o ponto de vista fundamental da Eletricidade Atmosférica, deveria aumentar, o que não era assim observado nos dados dos sensores orbitais. Mais uva vez podemos generalizar ao fato que estes não distinguem as descargas e ainda não são capazes de monitorar todas as tempestades que ocorrem sobre esta região, o que nos leva a ressaltar mais uma vez a necessidade da conclusão da RINDAT.

Com relação à campanha, cabe destacar que, em função de questões políticas e institucionais, esta se estendeu para ocorrer apenas no ano de 2006, possivelmente nos



meses de verão. Isto nos levou a aumentar o conhecimento teórico e a realizar trabalhos mais voltados a questão da rede de detecção de relâmpagos (SIDDEM/RINDAT) e ainda aos dados do sensor LIS/OTD que, embora não seja a melhor ferramenta para a análise dos fenômenos, exprime boas repostas para os fenômenos que aqui ocorrem, sendo possível a identificação dos condicionantes que atuam sobre os relâmpagos no Rio Grande do Sul.

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

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] Ayoade, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p. Título original: Tropical Climatology Introduction.
- [5] Barrington-Leigh, C. P. *et al.* Sprites triggered by negative lightning discharges. **Geophysical research letters**, vol.26, n. 24, p. 3605 – 3608, 1999
- [6] Bering, E. A. *et al.* Sprite and Elve Electrodynamics. **Advanced Space Research**, vol. 30, n. 11, p. 2585 – 2595, 2002
- [7] Bering, E. A. *et al.* The results from the 1999 sprites balloon campaign. **Advanced Space Research**, vol. 34, p. 1782 -1791, 2004
- [8] Boeck, W. L. *et al.* Observations of lightning in the stratosphere. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. 1 p. 1465 – 1476, 1995
- [9] Bourscheidt, V. *et al.* Contrast in atmospheric discharges over land and ocean at Rio Grade do Sul – Brazil. **Conference Proceedings on GROUND’2004**. Belo Horizonte: Perez Bovolenta Editora Ltda, 2004, p. 338 – 340.
- [10] Breunig, F. M. *et al.* Lightning Activity as a Funtion of the Geographical Characteristics at Rio Grade do Sul – Brazil. **Conference Proceedings on GROUND’2004**. Belo Horizonte: Perez Bovolenta Editora Ltda, 2004, p. 321 – 325.
- [11] Christian, H. J. *et al.* **The Lightning Imaging Sensor**. Proceedings of the 11th International Conference on Atmospheric Electricity, Guntersville, Alabama, June 7-11, 1999, pp. 746-749.

- [12] Cummer, S. A. Current moment in sprite-producing lightning, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 65, p. 499 – 508, 2003
- [13] 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
- [14] 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
- [15] Katlenburg-Lindau. **Journal of atmospheric and terrestrial physics**. v. 58 n. 15 p. 1711-1720, 1996.
- [16] Lewis, W. W. **The Protection of Transmission Systems Against Lightning**. 2 ed. New York: Dover Publications, 421 p.
- [17] 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
- [18] Naccarato, K. P.; Pinto JR., O. & Pinto, I. R. C. A. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. **Geophysical Research Letters**. V. 30, n. 13, p. 7-1 a 7-4, 2003
- [19] Orr, J. C. de. **Entre a terra e o espaço**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1966. p. 62-77.
- [20] 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
- [21] 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
- [22] Pinto Junior, O. & Pinto, I. R. C. de A. **Relâmpagos**. São Paulo: Brasiliense, 1996.108 p.

- [23] Pinto Junior, O. & Pinto, I. R. C. de A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. Belo Horizonte: [s.e.], 2000, 193 p.
- [24] Riehl, H. **Meteorologia tropical**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1965
- [25] 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.
- [26] 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
- [27] Sartori, M. da G. B. **Clima e percepção** v2. 2000. 332-361f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000]
- [28] 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
- [29] Tavares, F. De S. S. **Role of Conductivity Spatial Structure in Determining the Location of Sprite Initiation**. 138 p. Ph. D. Dissertation (Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks – Fairbanks, Alaska, USA), 2003
- [30] Tavares, M. & Santiago, M. A. M. Eletricidade Atmosférica e Fenômenos Correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 24, n. 4, 2002.
- [31] 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
- [32] 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
- [33] Williams, E. & Stanfill, S. The physical origin of the land – ocean contrast in lightning activity. **C. R. Physique** **3 (2002)** 1277 – 1292.
- [34] 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.



- [35] The Bakken Library and Museum of Electricity in Life, disponível em <<http://www.thebakken.org/electricity/science-of-static.html>>, acesso em 07/03/2005.
- [36] MSFC/NASA. **Lightning & atmospheric electricity research at the GHCC.** Disponível em: < <http://thunder.msfc.nasa.gov/> >. Acesso em: 28 março de 2005.
- [37] Alaska University Fairbanks. Sprite99 Baloon Campaign results. Disponível em <<http://www.uh.edu/research/spg/Sprites99.html>>, acesso em 15/04/05.
- [38] REVISTA FURNAS ANO XXXI N° 316 JANEIRO 2005. Rede de Detecção de raios será ampliada.

## ANEXOS

### Publicações

#### A. Trabalhos Submetidos

##### A.1. “*Contrast In Lightning Activity Over Land and Ocean at Rio Grande do Sul - Brazil*”

Evento: Ground'2004 & 1st LPE 2004, realizado de 07 a 11 de novembro de 2004, na cidade de Belo Horizonte – MG.

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

#### ABSTRACT

Data from the Lightning Image Sensor (LIS) in the state of Rio Grande do Sul (South region of Brazil) were analyzed from December 1998 to November 2003 to investigate the lightning characteristics over land and ocean. The data were selected by seasons, in different latitude and longitude on the region of study, especially to show the seasonal and spacial variation of atmospheric discharges. Three areas were selected: one in land, other in the transition and other in Atlantic Ocean. The variation of discharges between land and ocean results from different processes that act above land and above ocean, related to differences in altitude, temperature, aerosol concentration and humidity variations. At Rio Grande do Sul, the spacial variation of discharges results from these different characteristics, which should have great influence in all atmospheric process that act in this state.

#### INTRODUCTION

The contrast between land and ocean, like that in temperature, can be seen in many phenomena. One of these phenomena is lightning, which shows differences at its activity and characteristics – intensity, polarity, and others. These differences have

relationship with several factors and elements that act simultaneously at Earth's surface, such as temperature and aerosol (thermal and aerosol hypothesis).

When LIS and OTD sensor's – of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) – did capture the radiation of Earth's lightning, it was possible to see a great contrast between land and ocean on total lightning in large scale.

Considering the temperature, it maintains more constant at ocean than land, which senses more the daily and seasonal variations. The contrast land/ocean is still associated with the height variations, specially on the study area – the Rio Grande do Sul.

Other important aspect that has influence on thunderstorm formation and lightning variations is the aerosol amount on atmosphere, that affect directly the amount of cloud condensation nucleus, which may increase the cloud electric charges and the lightning activity, associated to little rainfall. Since the aerosol amount is related as the pollution on atmosphere, this occur more over land and urbanized area, like Porto Alegre Metropolitan region, near to the ocean.

In addition, many researches believe that the atmospheric humidity has great influence on thunderstorm formation and electrical activity. Dynamic aspects also should be considered, as frontal systems – more common on winter – and Instabilities – more common on summer.

It is worth mentioning that based on the fact that the data were obtained by the Lightning Imaging Sensor (LIS), all lightning were considered.

The objective of this paper is to identify the lightning contrast over land and ocean at the Brazilian State of Rio Grande do Sul, using factors and elements that can act on total discharges over land/ocean, and the climatic and temporal dynamic influence in different areas.

## METODOLOGY

The data were selected on the years of 1998 to 2003 by seasons – three months since December 1998 to November 2003 – at different latitude and longitude. For each season, squares corresponding latitudes and longitudes in land, transition and ocean

region were considered. The latitude were obtained in sequence, such as -28.000 to -33.500 South latitude parallel, with  $0.5^\circ$  interval. The longitudes were obtained three by three, along de seaboard, also with  $0.5^\circ$  interval.

Maps were elaborated to explain total lightning spacial variations, on 1998/1999 summer to 2003 spring interval. In this way, six classes were created for total discharges.

## RESULTS

The results shows considerable lightning contrast between land and ocean, if considering a region along the coast: over land, transition and ocean, as it can be seen in Figure 1.

It is possible to identify a great lightning variation between land and ocean, by a tendency line analyze. It is still possible to see a great lightning increase in 2002 in three longitudes. During the five years analyzed, the greater activity was in 2002 followed by 2001. This is shown in Figure 2 and it seems related to local meteorological characteristics.

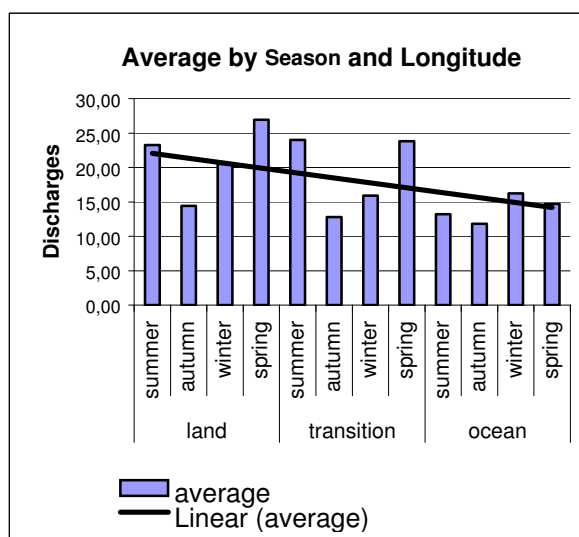


Figure 1 – Annual and longitudinal lightning average.



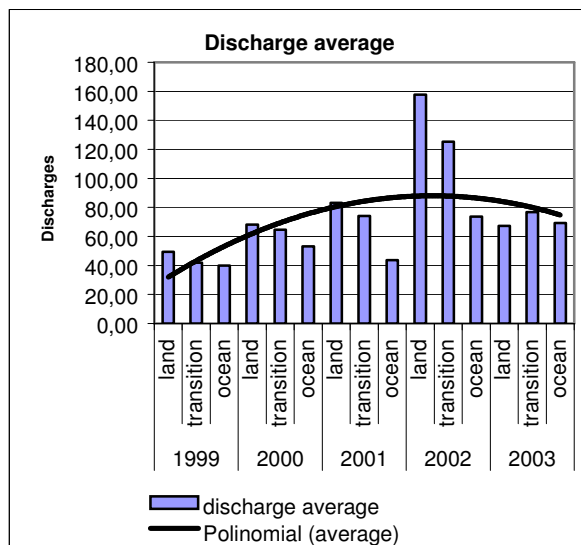


Figure 2 – Annual and spacial lightning average and polynomial tendency line (lightning data by year).

In five years, only 2003 have more lightning over ocean than land, and it seems to be associated with local synoptic characteristics, with great influence at Rio Grande do Sul. Among these synoptic characteristics, cyclogenesis have great importance on total discharges over ocean, specially by extratropical cyclones that happen.

Figure 3 shows each season lightning variation, with a greater variations in summer and spring seasons, by larger heating on middle latitude during this period. There is still a great occurrence on winter, which is associated with local frontogenesis and cyclogenesis (have great influence in this season).

In autumn the lightning occurrence is reduced, like a middle period between Summer Instabilities and Frontogenesis, which don't reach its peak. Lightning variation over ocean is because in hotter months the ocean heating is smaller, and during the winter (when the frontogenesis is very important) the temperature variations between land and ocean are not very important. So, this period is subjected to many influences.

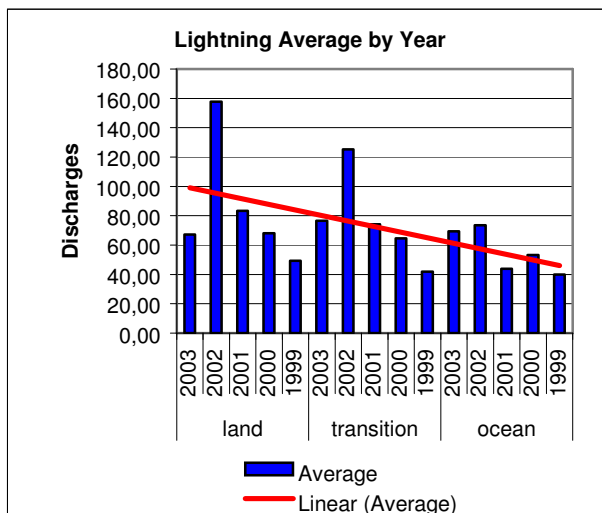


Figure 3 – Llongitudinal and seasonal lightning average.

Maps were made for total discharges and seasonal variations showing the lightning spacial variation, its early distribution. Colors are represented in growing scale, with a 685 discharges resolution (Figure 4).

Lightning maps indicated that most activity is located specially in Southern to middle State coast region, where it's beginning to decrease, with intermediary variations.

It is interesting that considering the latitude, lightning should increase, but it was not observed. However, this region is possibly conditioned by northern State sierra, which moves upward the air masses, increasing the lightning amount it during the ascension and after decrease lightning amount.

During all seasons the total lightning follows the general region climatic and temporal characteristics; during summer lightning are more disperse and regular along the coast, following the ocean and land. In autumn there is less lightning and a smaller concentration on State southern region, associated with South Pacific frontogenesis. During the winter there is a total lightning increase, due to local cyclogenesis and frontogenesis, which is very intense in this region.

In spring there is a considerable lightning increase on coast region, but still exist an elevated discharge amount associated to local meteorological characteristics. In this period the greatest number of discharges during all period occurred.

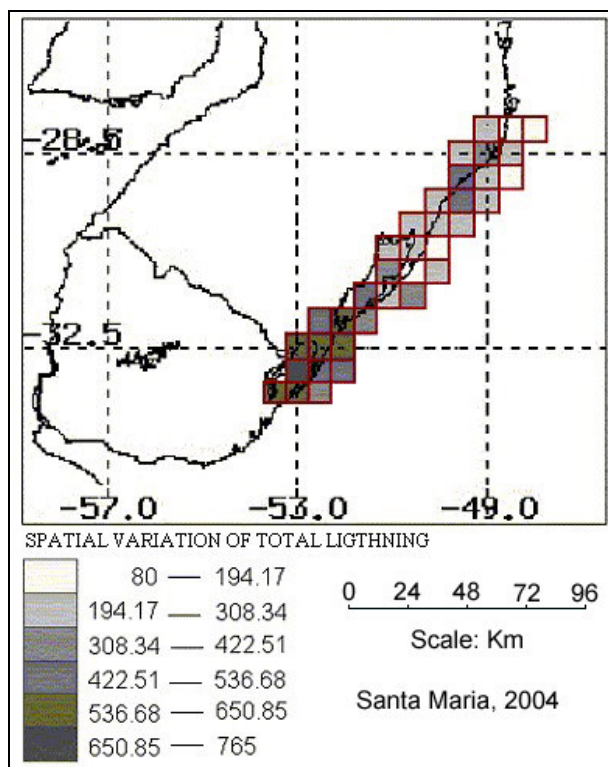


Figure 4 – Total lightning spatial variation.

## CONCLUSIONS

Seasonal meteorological variations have considerable influence on total lightning, specially by cyclogenesis and frontogenesis for the Brazilian State of Rio Grande do Sul, but don't have many effects on spatial variation between land and ocean. However, many other factors are capable to determinate lightning activity in the region of study, like height variations, temperature, humidity, solid particles and aerosol present in the atmosphere. Therefore, even if it is considered smaller areas or regions, it is possible to identify a difference between land and ocean in total lightning.

This analyze is very important to understand the atmospheric dynamics, interaction among surface and atmosphere, elements and factors that affect this dynamics. It is still important their effects in people and its activities, specially at the coast region.

## A.2. “Lightning Activity as a Function of the Geographical Characteristics at Rio Grande Do Sul – Brazil”

Evento: Ground'2004 & 1st LPE 2004, realizado de 07 a 11 de novembro de 2004, na cidade de Belo Horizonte – MG.

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

### ABSTRACT

The dependence of the total lightning activity in the state of Rio Grande do Sul, South of Brazil, on the altitude was investigated using data obtained from the Lightning Imaging Sensor (LIS) from 1998 to 2003, considering that some investigations have reported such a relationship. No evidence was found. However, the limited resolution (80 km) of the data makes necessary more investigation in the future. The variations observed at this scale seem to be more related to meteorological conditions. It is suggested that the data obtained by the lightning network that it is being installed in this region can be used for this purpose.

### INTRODUCTION

The relationship between the lightning and some geographical characteristics is present. The State of Rio Grande do Sul, located in the Southern of Brazil, presents an anomaly on the number of lightning in relation to areas with same latitude, based on the Lightning Imaging Sensor (LIS) data. The State presents a quite varied relief, with areas of different geological substrata and altitudes. The climatic conditions of the area are characterized by a domain of the Atlantic Polar Mass, the South Atlantic Tropical Mass and by the Tropical Instabilities.

A brief revision regarding the lightning, climatic and meteorological conditions that characterize the Rio Grande do Sul State, a series of data, graphs and thematic maps, elaborated based on LIS data, followed by the results, discussions and conclusions are presented.

## BASIC CONSIDERATIONS

The climatic and meteorological conditions are regulating by geographical factors and elements that characterize a region. The weather characteristics are important to study the electric activity on the atmosphere. The cloud electrification are associated with micro-physical and macro-physical processes, through the collision, friction between water drops, ice crystals and hail, that are accelerated by upward and downward currents inside the clouds and by the gravity, processes still do not completely known.

Lightning occur when the charge inside the cloud is high enough to break the dielectric rigidity of the air. Two types o lightning exist: cloud and ground flashes. The ground flashes can still be classified in relation to the polarity, as positive or negative. The term total lightning refers to all flashes.

The climatic and meteorological conditions in Rio Grande do Sul are marked by the presence of the Atlantic Polar Mass, MPA, the Pacific Polar Mass, MPP, the South Atlantic Tropical, Mass MTAS, and by the Tropical Instabilities, IT. A MPA and MPP are formed by the Polar Mass, which has origin in Southern Pacific, migrating from Southwest to Northeast and it becomes separated in two masses in the Latitude of Patagonia, due the geomorphologic influence. The MPA migrates for the East and MPP for the West of South America. The Rio Grande do Sul is most time of the year under the MPA domain. Eventually the MPP influence in the weather characteristics of the State, mainly in the winter. Figure 1 show the behavior of some masses in South America and consequently in Rio Grande do Sul.



Figure 1 – Some air masses in South America. Source: <<http://satelites.cptec.inpe.br>>.

The MTAS has your origin on the South Atlantic Tropical Anticyclone. It runs from Northeast to Southeast. The IT in general is formed on the Centro-Oeste Brazilian Region and they migrate to Rio Grande do Sul. In the summer, it is common to form Cb clouds in Rio Grande do Sul due the heating. These Tropical Instabilities present a large number of Cb clouds, and consequently a large number of lightning. In the summer and spring a high evaporation is verified and consequently a larger number of Cb clouds and lightning.

In relation to the weather conditions, we have at least 15 types of weather in Rio Grande do Sul considering the habitual succession of the weather types. These are divided in 3 great groups: Weather Types Associated to Polar Anticyclones; Weather Types Associated to Tropical Systems; Weather Types Associated to Disturbed Currents. The specification of these weather types can be found by Sartori, 1993.

In relation to the geology and geomorphology of Rio Grande do Sul, it is formed by four great geological and geomorphologic compartments, named as: Shield, predominantly formed of crystalline rocks; Sul-rio-grandense Plateau, in general formed by volcanic rocks; Central Depression, formed of sedimentary rocks and; Coastal Plain, formed of recent sediments not yet completely consolidated. They are shown in Figure 2.

In the Plateau it is observed the largest altitudes of Rio Grande do Sul, overcoming in some areas 1000 m above sea. In the Shield it is also high areas, with more than 400 m. On the other regions prevails altitudes under to 200 m. The altitude distribution can be seen in Figure 3.



Figure 2 - Geological and geomorphological characteristics of Rio Grande do Sul.

Source: Robaina, L. E. de S. *et al*

## METHODOLOGY

The total lightning data were obtained by LIS sensor. In order to have a reasonable statistics the data were sorted in regions of 1° of latitude and longitude, 80x80 Km<sup>2</sup>, considering the years of 1998 to 2003, according to Figure 3.

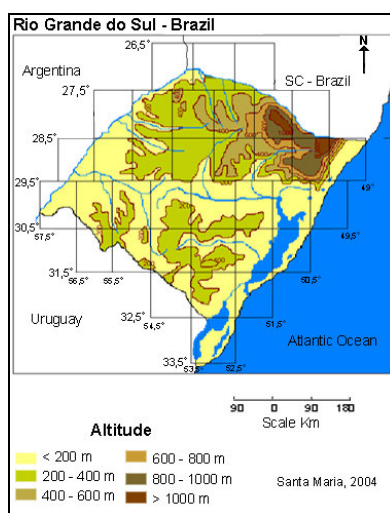


Figure 3 – The regions of Rio Grande do Sul in terms of the altitude.

The lightning data were analyzed in terms of the seasons, and compared with maps of temperature and precipitation.

## RESULTS AND DISCUSSION

In relation to the altitude, the areas of larger altitude in Rio Grande do Sul are located in the Northeast and Center-south. In the first area the altitudes overcome 1000 m above the sea. In the second it surpasses the 400 m. In the other areas the altitude is less than 200 m.

The results obtained about lightning distribution as a function of the altitude can be seen in Figures 4, 5, 6, 7 and 8.

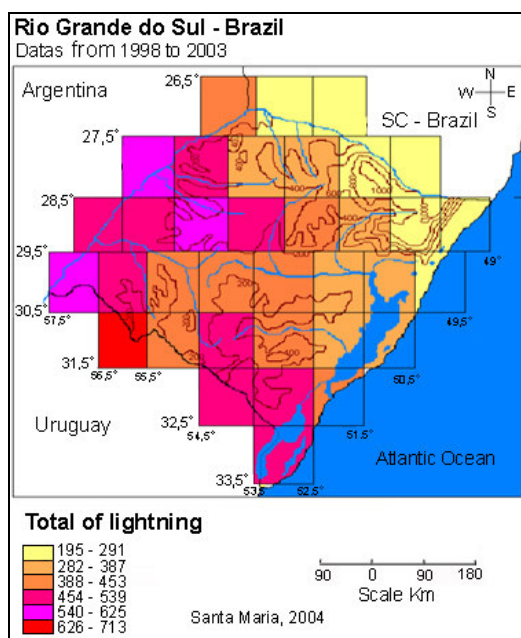


Figure 4 - Annual average lightning activity in the period from 1998 to 2003, considering all data recorded by the LIS sensor.

As it can be seen in Figure 4, in the Northeast area was observed the smallest densities of lightning. The largest annual medium density was verified in the Southwest area. In general, in the West and in the South of Rio Grande do Sul the largest densities were observed, however, in these regions we verify altitudes under to 200 m. Thus, we do not found evidences that the land elevation increase the number of lightning, as suggested in other studies, according to Gomes, 2003, Diendorfer and Schulz, 1998 and 1999.



However, this could be due to non discrimination among all lightning types, since in the studies above mentioned, only ground flashes were considered, or due the different spatial resolution that were used.

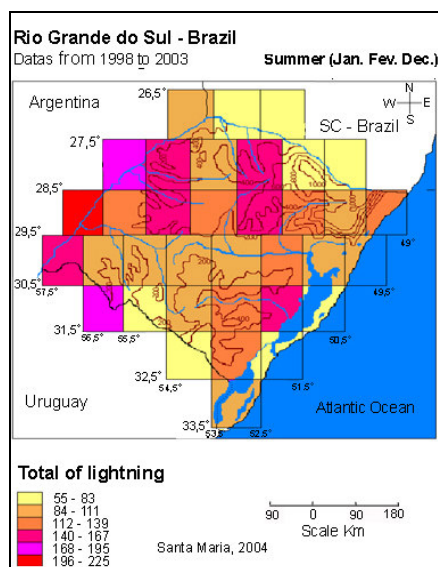


Figure 5 - Annual average lightning activity in the summer from 1998 to 2003.

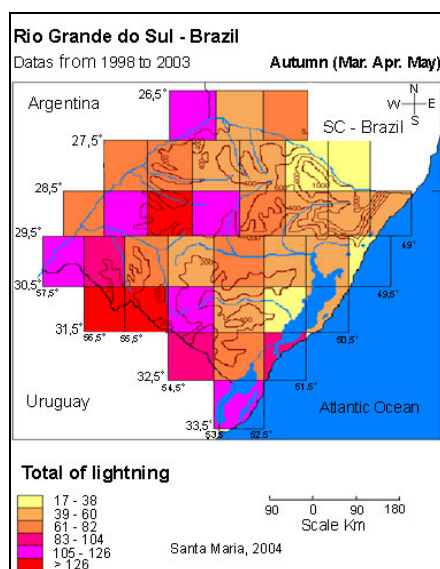


Figure 6 - Average of lightning in the autumn from 1998 to 2003.

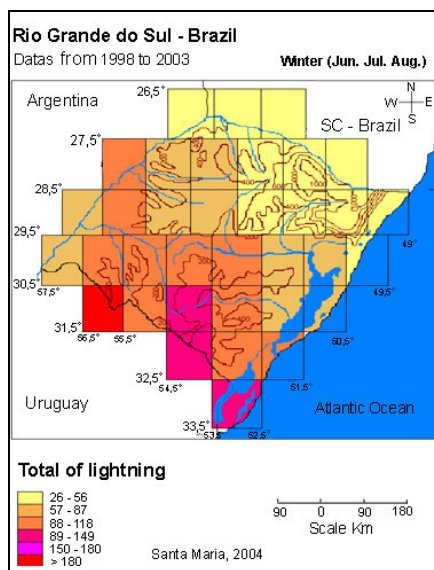


Figure 7 - Annual average lightning activity in the winter from 1998 to 2003.

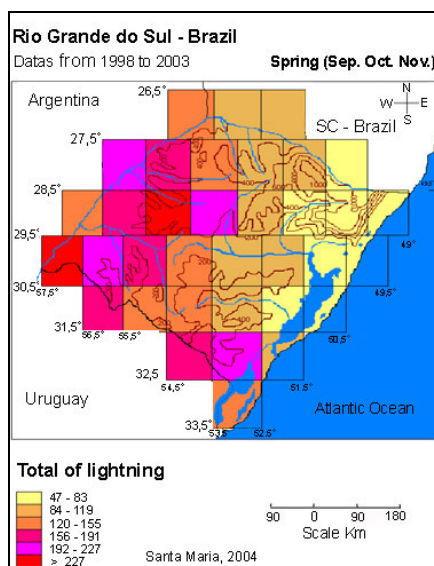


Figure 8 - Annual average lightning activity in the spring from 1998 to 2003.

According to Figure 9, the low number of lightning in the Northeast of the State coincides with the areas where the lowest temperatures. The high number of lightning is verified at the West and it coincides with higher temperatures.

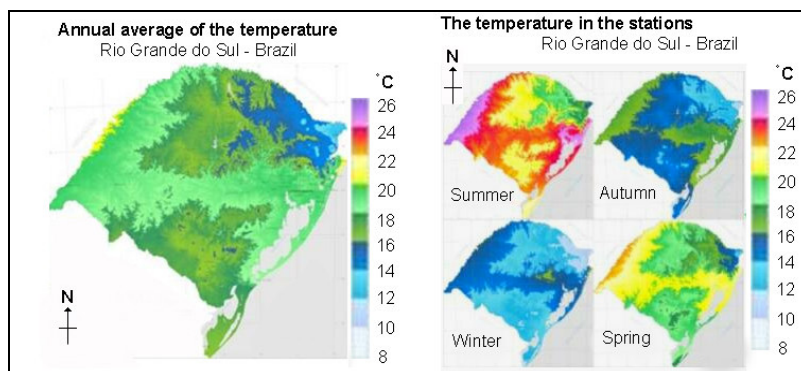


Figure 9 - Annual and seasonal temperature of Rio Grande do Sul. Source: Available in: <http://www.semc.rs.gov.br/atlas/climat.htm>.

In relation to the precipitations, Figure 10, we verified that the largest precipitation occur in the North of the State, however the number of lightning registered for this area is low. In the West and South, where low precipitation were observed, lightning is more frequent.

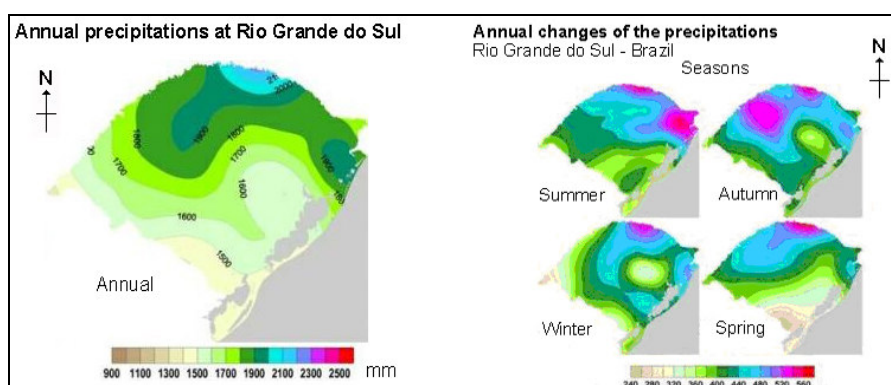
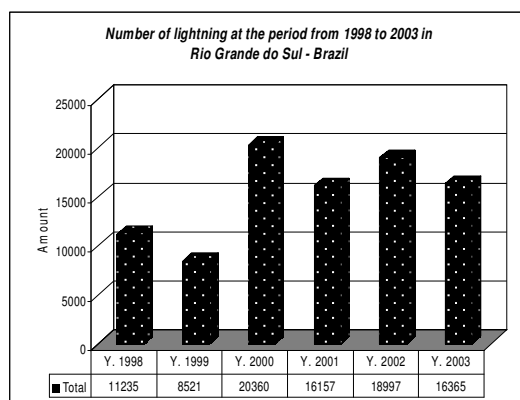


Figure 10 - annual medium Precipitation in Rio Grande do Sul. Source: Available in: <http://www.semc.rs.gov.br/atlas/climat.htm>.

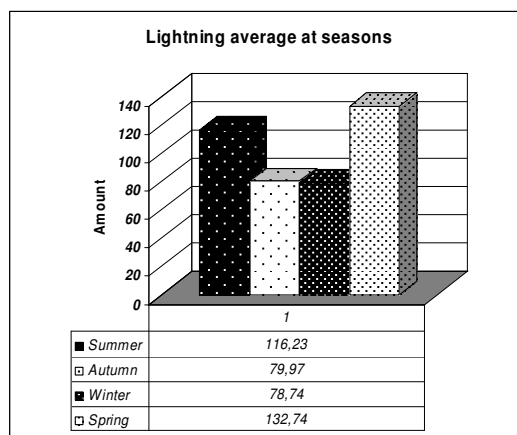
Regarding the seasonal lightning distribution, in the summer, Figure 5, we verified the largest incidence in the Northwest quadrant, which can be associated to highest temperatures and precipitation, according to the Figure 9 and 10. In this season a low activity of atmospheric discharges is also verified in the South of Rio Grande do Sul. In the autumn, Figure 6, lightning are more numerous in the West and Southwest. In this season a large lightning density is verified on South at the State. In the winter the electric activity of the atmosphere decreases plenty, and the distribution concentrates

more in the South, according to Figure 8, A low density of lightning in the coast is verified in the spring, Figure 9, fact that may be associated with the temperature of the surface of the sea, that begin to heat. The West of the state has the largest densities, being this season that presents the largest density of lightning, according to Figure 10 and 11.

In the 6 years of study, it was verified that in 1999 the LIS sensor registered less than 10.000 flashes and in 2000 more than 20.000 flashes. The average for these 6 years was 15272 flashes by year. This annual variation can be seen on Graph 1. In the Graph 2 the seasonal variation is presented and it can be seen that in the spring the lightning activity in Rio Grande do Sul is more intense, a fact that could be unexpected. In the winter we had the smallest densities of flashes, followed for the autumn. Thus, the meteorological conditions seem to be the largest conditioning of these variations, marked by the heating in the spring and associated to a larger convective activity and a larger presence of IT. In the autumn and winter we have a domain of MPA that causes a decrease of thunderstorms.



Graph 1 - Annual variation of the number of flashes in Rio Grande do Sul in the period from 1998 to 2003



Graph 2 - Seasonal variation of flashes in Rio Grande do Sul, 1998 to 2003

## CONCLUSIONS

No evidence was found to an increase of lightning activity with altitude. However, this result might have been conditioned, for consider all the types of lightning, differently of the other researches that just considered ground flashes and/or for use low resolution data.

In general, the spatial distribution of the lightning is more intense in the West, Northwest and Southwest, suggesting a relationship with the convective systems. The areas with the largest precipitation indexes do not coincide with the areas with larger lightning activity, but coincide with the areas that presented the higher temperatures. In synthesis, considering the presented facts, it seems that the synoptic conditions are determining the distribution and the number of lightning in Rio Grande do Sul at the scale of this study.

Clearly, more studies starting from more reliable lightning data are necessary. Such studies will be possible in the near future, with the installation of a Lightning Detection network in Rio Grande do Sul. Anyway, this study gives the first conclusions about the density and distribution of the lightning in Rio Grande do Sul.

**A.3.** *“Uso de Informações Sobre Relâmpagos para monitoramento e previsão de eventos atmosféricos”*

Evento: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, realizado de 13 a 16 de outubro de 2004 na cidade de Aracaju – SE.

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

## INTRODUÇÃO

Os desastres naturais com sua gênese relacionada às condições atmosféricas são em grande parte evitados em países desenvolvidos como a Alemanha, Estados Unidos, Reino Unido, França, onde existem sistemas de alerta sobre perigos de tempestades. Isto é possível pela existência de um Sistema de Detecção e Monitoramento de Relâmpagos, gerando resultados há alguns anos. Com o entendimento da dinâmica das tempestades de relâmpagos e a integração de informações sobre diversos parâmetros atmosféricos vêm se obtendo resultados positivos. No Brasil os sistemas de detecção de relâmpagos são mais difundidos na Região Sudeste, no Paraná e em Rondônia. Em 2004 entrou em operação a RINDAT gerando soluções em tempo real. Em âmbito Global, o monitoramento dos relâmpagos fornece informações úteis para auxiliar os estudos sobre o Aquecimento Global. Neste sentido, o trabalho propõe o uso de dados de relâmpagos para monitorar e prever essas condições atmosféricas. Apresenta-se uma breve revisão sobre os potenciais usos destes sistemas, seguida da apresentação dos resultados, discussões e conclusões.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho partiu-se da revisão de referências bibliográficas pertinentes, como Bomfin Jr. (2004), Pinto Jr. e Pinto (2000), Abdolaev (2001), Molinari (1994), Naccarato (2001), Gomes (2003), entre outros. Deste referencial, buscou-se identificar pontos relevantes, passíveis de uso no monitoramento e previsão de eventos atmosféricos. As informações sobre a atividade Global de relâmpagos foram obtidas a partir do sensor *Lightning Imaging Sensor* – LIS, e utilizadas para ilustrar a distribuição espacial das descargas atmosféricas, em especial a distribuição global de relâmpagos. A

partir dos totais anuais calculou-se as linhas de tendência relacionando o Aquecimento Global e a quantidade de relâmpagos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Sistemas de Localização de Tempestades – SLT são utilizados nos Estados Unidos, Alemanha, Áustria, França, Japão, Reino Unido, Região Sudeste do Brasil. As informações geradas permitem entender como os relâmpagos se distribuem ao longo do ano e no espaço, e como se associam às características geográficas. Os dados gerados são aplicados em diversos setores, como para o planejamento de equipamentos e rotas aéreas, posicionamento de equipes de reparo, sistemas de alerta a população, etc. Há evidências de que as tempestades de granizo, muito prejudiciais à agricultura, podem estar associadas a um determinado comportamento da atividade de relâmpagos e, portanto, essas tempestades podem ser previstas e evitadas através de modernas técnicas, como a “injeção” de material particulado nas nuvens, provocando chuva e evitando o desenvolvimento do granizo. Ainda podem ser aplicados para apurar a origem de focos de incêndios em áreas florestais, campos ou edificações. A Figura 1 ilustra alguns eventos envolvendo relâmpagos.

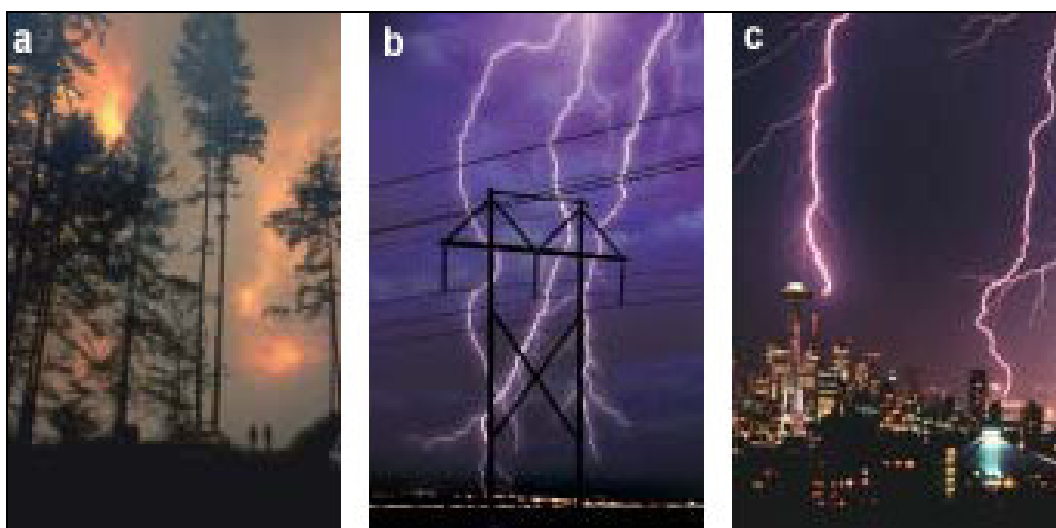


Figura 1 – a) Incêndio provocado por um relâmpago; b) Relâmpagos e seus efeitos em linhas de transmissão de energia; c) Relâmpagos atingindo edificações elevadas. Fonte: Disponível em: < [www.thunderstorms.com](http://www.thunderstorms.com) >. Acesso em 05/05/2004

Os dados sobre os relâmpagos podem ser utilizados como um dos parâmetros para fazer previsões de tempo, principalmente em situações extremas, como muitas tempestades convectivas. A Fig. 2 mostra o acompanhamento da atividade de relâmpagos associados a uma ciclogênese local (Abdolaev 2001). Podem ser úteis para estimar o potencial de precipitações. Os aeroportos podem suspender as atividades em situações de alto risco, provocado tanto por relâmpagos como pelas correntes/rajadas ascendentes e descendentes de vento. Além de re-orientar rotas aéreas, evitando atravessar células de tempestade.

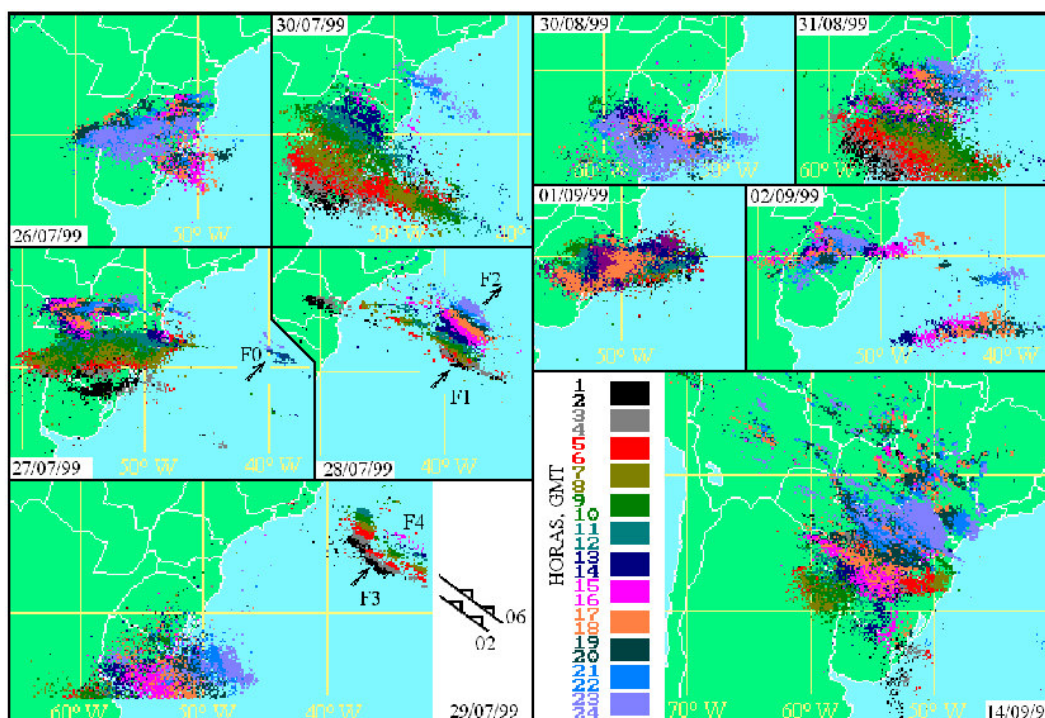


Figura 2 – Campos Acumulados das Descargas durante ciclogênese local, dia 26/07/99. Fonte: Abdolaev *et al* (2001, p. 83)

A utilização de Redes Neurais Artificiais – RNA, conforme sugerido por Bomfin Jr. (2004) é uma possibilidade que se apresenta para esses estudos. Este autor criou uma rede neural artificial para associar dados de refletividade de radares meteorológicos e dados de descargas atmosféricas. Utilizando um algoritmo de *Backpropagation* para fazer a integração, Bomfin Jr. obteve boa correlação (em torno de 80%) e sugere que esta pode ser uma ferramenta auxiliar na previsão do tempo (Fig. 3). Sugere ainda a utilização de Redes de Funções Radiais de Base – RBF. A *Tornado and Storm Research*



Organization- TORRO, no Reino Unido formou um banco de dados sobre tempestades, incluindo dados de relâmpagos (Elsom<sup>a</sup> *et al*, 2000)

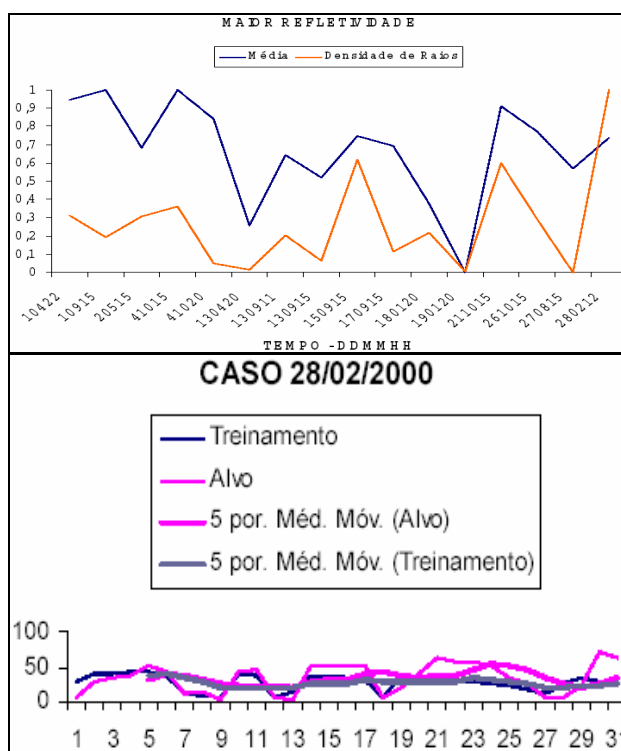


Figura 3 – Valores máximos da média de refletividade e densidade de raios e Ativação de Echotop de 28/02/2000. Fonte: Bomfin Jr. (2004, p. 94 e 104)

A atividade de relâmpagos pode ser utilizada para acompanhar as variações de temperatura na atmosfera, visto que a quantidade de relâmpagos tende a crescer com o aumento da temperatura. Isto pode ser feito utilizando redes de detecção regionais, como a Rede Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas – RINDAT no Brasil, a *National Lightning Detection Network* – NLDN nos Estados Unidos, a *European Cooperation for Lightning Detection* – EUCLID na Europa, ou através de um monitoramento por satélite, utilizando sensores como o *Lightning Imaging Sensor* – LIS e o *Optical Transient Detector* – OTD, de órbita polar, ou utilizando satélites geoestacionários, conforme proposto por U. Finke e T. Hauf (2002).

Como as mudanças climáticas afetam a ocorrência de eventos atmosféricos, muitos *Frameworks* vêm sendo elaborados para modelar estes eventos e a vulnerabilidade e adaptabilidade (V&A) considerando diferentes *inputs*. Assim, a variação na distribuição temporal e espacial dos relâmpagos, bem como variações em

seus parâmetros de análise, pode ser utilizada para estudar fenômenos relacionados ao aquecimento Global, El Nino, La Nina, Ciclones tropicais, entre outros. As Figuras 4 a 10 mostram os resultados encontrados, ou seja, a distribuição Global dos relâmpagos nos anos de 1998 a 2003, com dados obtidos do sensor LIS, para as áreas de até 40° de latitude Norte e Sul e as linhas de tendência.

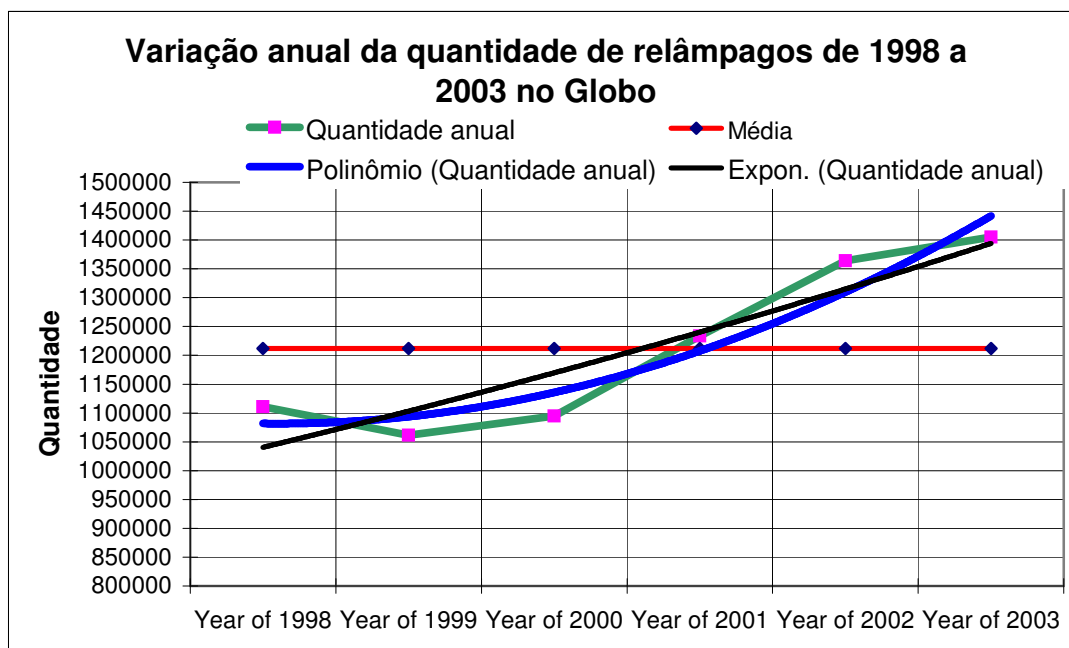


Figura 4 – Distribuição Global dos relâmpagos para os anos de 1998 a 2003, com base em dados do sensor LIS.

Baseado nas Figuras 4 a 10 verificou-se a tendência de aumento da quantidade de relâmpagos. Portanto, podemos estabelecer uma relação com o Aquecimento Global. Porém, o aumento da quantidade de material particulado na Atmosfera pode estar contribuindo para este aumento. A influência da poluição já foi documentada no Brasil, abordando grandes áreas metropolitanas.

Por fim, devemos destacar a importância destes estudos para a comunidade científica, onde os relâmpagos constituem o principal mecanismo de manutenção do Circuito Elétrico Atmosférico Global – CEAG, gerando bases para a Ciência Pura e Aplicada.

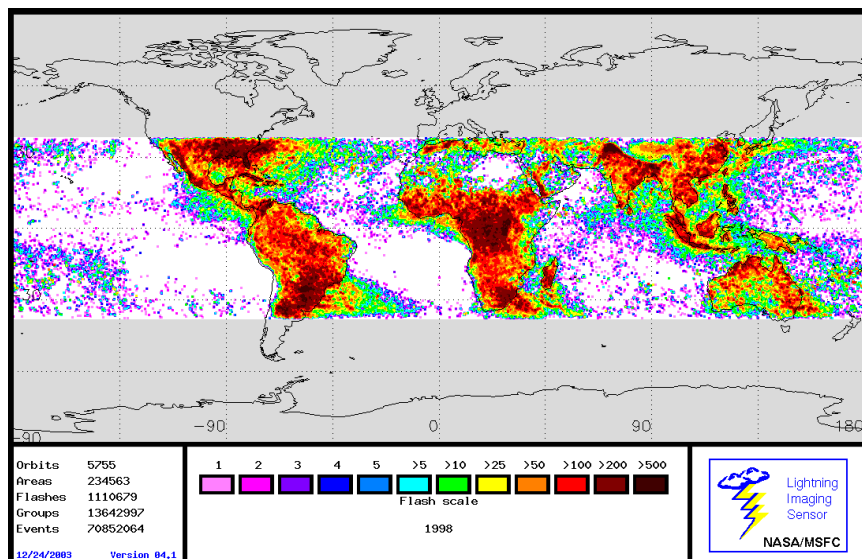


Figura. 5 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

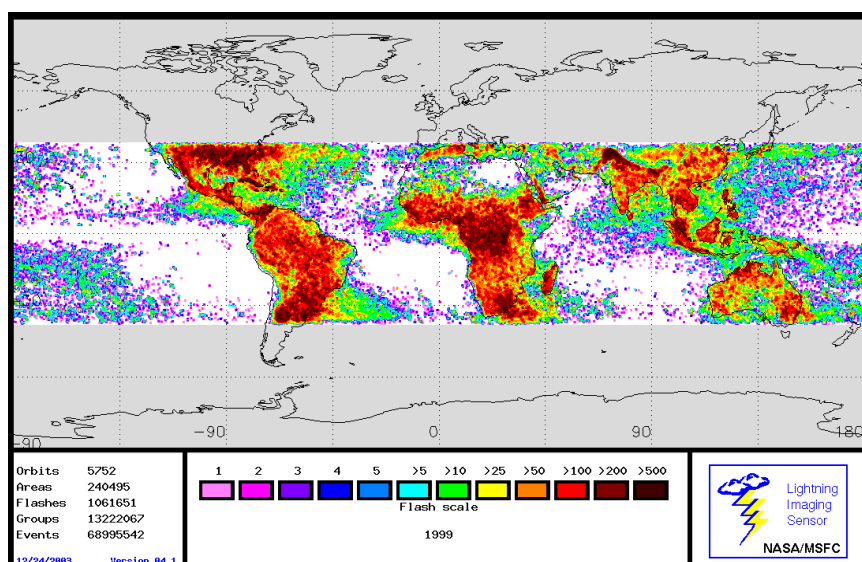


Figura. 6 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

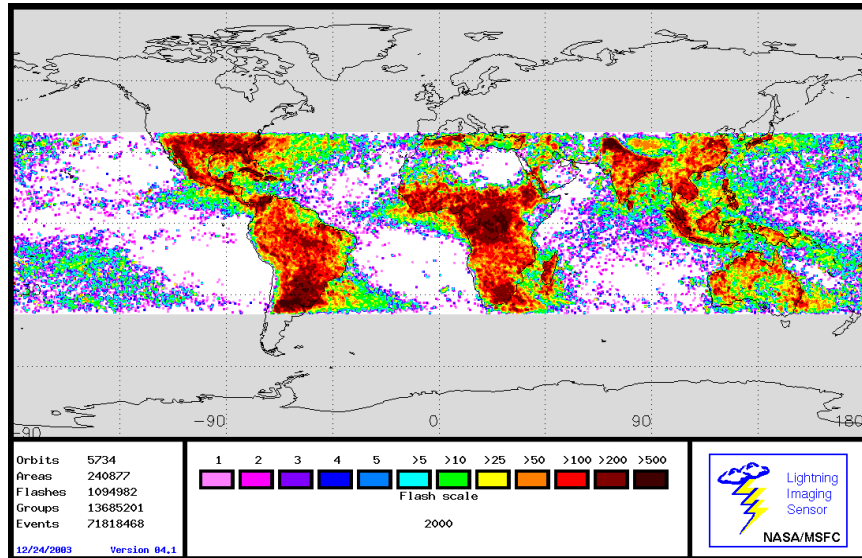


Figura. 7 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

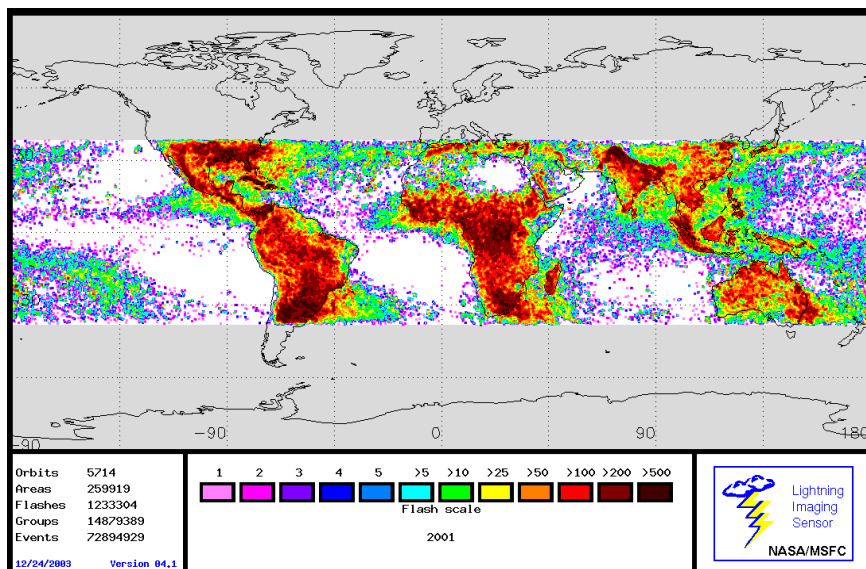


Figura. 8 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

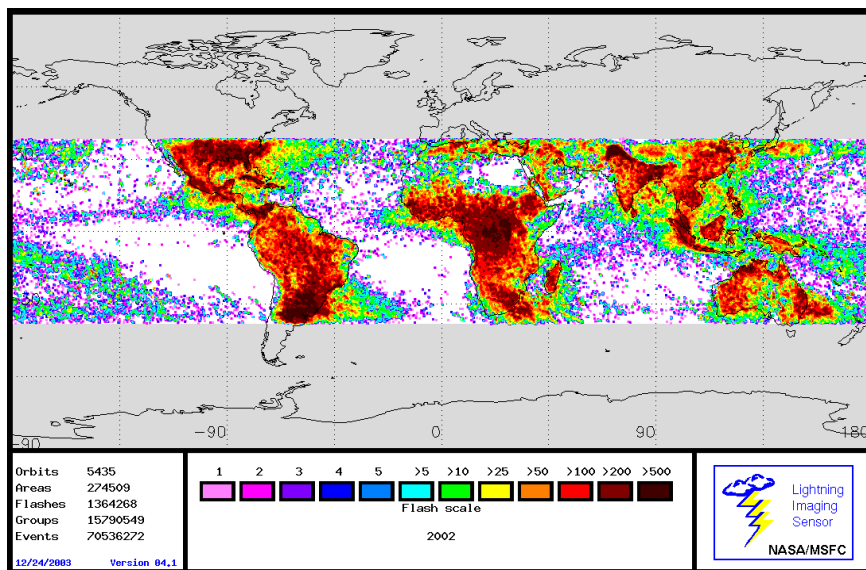


Figura. 9 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

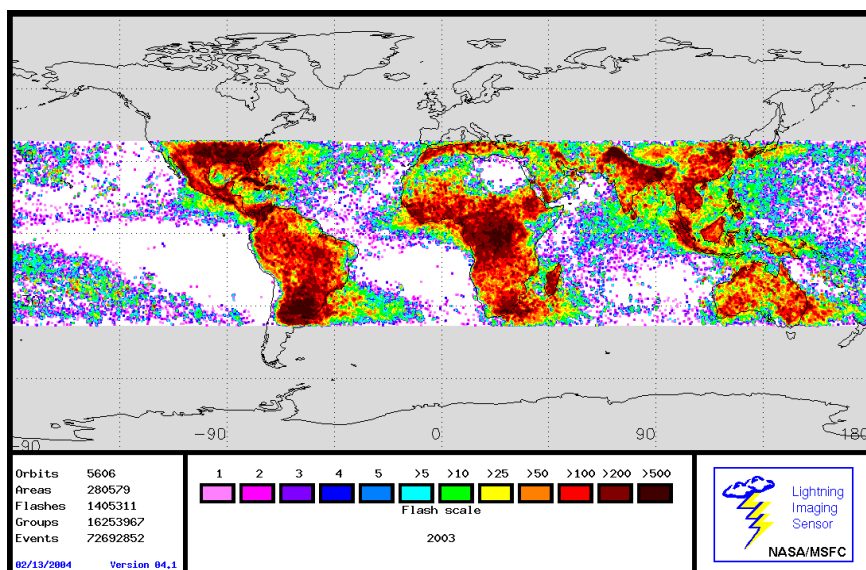


Figura. 10 – Dados sobre o total anual de relâmpagos para os anos de 1998 a 2003. Fonte: The v1. gridded satellite lightning data were produced by the NASA LIS/OTD Science Team (Principal Investigator, Dr. Hugh J. Christian, NASA / Marshall Space Flight Center) and are available from the Global Hydrology Resource Center (<http://ghrc.msfc.nasa.gov>).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados e informações obtidas no decorrer da pesquisa, verificou-se que a utilização das informações sobre as descargas atmosféricas pode ser

uma ferramenta para monitorar, identificar e estudar fenômenos atmosféricos. Com a identificação prévia de eventos atmosféricos de grande potencial de destruição, é possível alertar a população e evitar danos econômicos. No que tange ao estudo do Aquecimento Global e outros fenômenos de maior abrangência, se demonstrou a possível relação entre a quantidade de descargas atmosféricas detectadas e o aumento da temperatura Global média. Portanto essas informações são relevantes, pois derivam de um fenômeno que é diretamente afetado pelas variações de temperatura e presença de material particulado na atmosfera.

#### *A.4. “Eletricidade Atmosférica – Sistemas de Detecção na região Central do Estado do Rio Grande do Sul”*

Evento: XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004, realizado de 13 a 15 de Novembro de 2004 na cidade de Curitiba – PR.

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

#### RESUMO

Os efeitos dos fenômenos elétricos da Atmosfera são alvo de estudos de diversas ciências, tendo em vista o constante aumento de tecnologias sensíveis. Para que estas pesquisas sejam factíveis, precisamos de instrumentos que mensurem estas variáveis. O detector unidirecional de raios cósmicos do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, consiste em um instrumento que detecta as partículas que incidem numa placa de material cintilante. O sinal detectado é amplificado e digitalizado. Este detector possui duas placas: Uma onde as partículas cósmicas são detectadas e outra onde apenas as partículas de alta energia, como os Muons, são detectados, isto porque entre as duas placas existe uma placa de alumínio que impede a passagem de partículas de baixa energia. O detector de relâmpagos detecta o sinal eletromagnético produzido pelos relâmpagos, fornecendo informações sobre a quantidade de relâmpagos e a localização por quadrante (NxS; LxO). O detector de Campo Elétrico atmosférico superficial, conhecido como “Field Mill”, detecta o Campo

Elétrico presente na Atmosfera. O princípio de funcionamento consiste em um plano rotacional vazado, rotor, que gira sobre um plano rotacional completo, onde o campo elétrico consiste na diferença de potencial produzida quando os dois pontos vazados sobrepõem o plano. O sinal detectado é amplificado e digitalizado. A correlação dos dados produzidos possibilita ao pesquisador relacionar os diferentes sinais elétricos detectados e melhor explicar os diferentes fenômenos atmosféricos.

#### **A.5. “Diferentes tipos de sensores de superfície usados na detecção de relâmpagos”**

Evento: XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2004, realizada de 19 a 21 de Outubro de 2004 na cidade de Santa Maria – RS.

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

#### **RESUMO**

Nos últimos anos o interesse sobre os relâmpagos tem aumentado devido o crescente número de equipamentos eletrônicos susceptíveis aos efeitos das descargas atmosféricas. Neste sentido é apresentada uma breve revisão sobre os principais métodos de detecção de relâmpagos existentes, considerando os sensores de superfície. Para a realização deste trabalho tivemos como base uma revisão bibliográfica, análise de cada método, objetivando entender princípio de funcionamento dos métodos. Em geral existem três métodos para determinar os parâmetros dos relâmpagos, todos baseados na radiação EletroMagnética – EM, gerada pelos relâmpagos. O método MDF, *Magnetic Direction Finder*, usa a radiação EM para determinar um ângulo de azimute em relação ao Norte geográfico, e estima a localização no ponto onde existe a intersecção entre dois vetores de direção, no entanto, quando existem três ou mais sensores participantes, o sistema otimiza a solução. Um segundo método denominado de TOA, *Time Of Arival*, usa a radiação EM para calcular o tempo de chegada da radiação ao sensor e a partir de um algoritmo gera soluções baseado em intersecções hiperbólicas ou circulares. O terceiro método de detecção é conhecido como ALDF, *Advanced Lightning Direction Finder*, ou IMPAC, devido o nome dos sensores. Este método combina os métodos MDF e TOA,

gerando soluções mais precisas do que qualquer método individualmente. Desta forma, perante a instalação do Sistema de Detecção de Relâmpagos do Sul do Brasil, estes estudos são relevantes, visto o leque de aplicações que seus resultados podem apresentar.

#### **A.6. “Formação de fulguritos no Rio Grande do Sul”**

Evento: XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2004, realizada de 19 a 21 de Outubro de 2004 na cidade de Santa Maria – RS.

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

#### **RESUMO**

De acordo com os estudos históricos da geologia e pela evolução do Planeta, sabemos que as rochas necessitam de muitos anos para se formar, sendo centenas a centenas de milhares de anos o tempo envolvido nesse processo. Ingressando como exceções a essa regra encontram-se os fulguritos (*Lechatelierita*), um tipo de mineral formado a partir das descargas elétricas que, ao entrarem em contato com o solo, aquecem os materiais do mesmo, fundindo-o e produzindo estranhas formas minerais com características vítreas. A formação destes minerais ocorre especialmente em regiões arenosas, com solos compostos principalmente de silicatos, onde o alto aquecimento faz fundir-se a sílica. Esses minerais vítreos adquirem a forma de tubos com diâmetro de alguns centímetros e comprimento de alguns metros – em alguns casos de até 8 metros. Para tal, quanto mais compacta for a areia, maior a chance de se formarem os fulguritos. Com relação à geologia do Rio Grande do Sul, tem-se quatro regiões homogêneas: o Escudo Sul-Riograndense, a Depressão Central, o Planalto e a Planície Costeira que, devido a sua formação arenosa é uma área mais propícia à ocorrência dos mesmos. Na perspectiva de elaborar um estudo teórico de identificação das áreas mais suscetíveis à formação de fulguritos no Rio Grande do Sul, buscou-se informações das características litológicas e da dinâmica atmosférica observada no Estado, especialmente com relação aos relâmpagos envolvendo o solo. Neste sentido, identificam-se como áreas mais prováveis



a formação dos fulguritos a Depressão Central, a Planície Costeira e formações arenosas no Oeste do Rio Grande do Sul.

#### **A.7. “Relâmpagos – Importância e aplicações”**

Evento: V Semana Acadêmica Integrada do CCNE, realizada de 14 a 18 de Junho de 2004 na cidade de Santa Maria – RS.

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

#### **RESUMO**

Os estudos relacionados às descargas atmosféricas são importantes visto que seu entendimento propicia a ampliação das bases teóricas a respeito do fenômeno e possibilita um melhor entendimento das condições de tempo e clima de uma determinada região. Informações e dados a respeito dos relâmpagos permitem planejar ações de revisão e conserto de danos em linhas de transmissão. Outro potencial de aplicação de seus resultados refere-se ao planejamento e monitoramento de linhas aéreas, onde se tem a possibilidades de uma verificação em tempo real ou por reprocessamento. Podemos citar os benefícios em relação à proteção de edificações. Acrescentamos ainda os impactos ao meio natural, que se evidenciam através de incêndios com gênese relacionada a relâmpagos. Para a realização deste trabalho foram as informações bibliográficas pertinentes ao assunto. Através da análise das informações se elaborou um trabalho de cunho explicativo, visando corroborar para a comunidade acadêmica. Entre os setores e aplicações dos estudos e informações temos o setor de energia, onde este fenômeno causa grandes prejuízos, visto que em uma estimativa apresentada por G. Diendorfer, 25% das interrupções no fornecimento de energia elétrica na Áustria estão relacionadas a descargas atmosférica. Através do monitoramento dos relâmpagos é possível pré-posicionar equipes de manutenção; O setor de telecomunicações é beneficiado, visto que grande parte das interrupções nas comunicações possui relação com os relâmpagos, além das interferências que causam;

Os dados podem ser utilizados para auxiliar na previsão do tempo. Em situações atmosféricas extremas os dados da atividade elétrica na nuvem podem ser um dos indicadores de granizo. As agências meteorológicas e hidrológicas podem utilizar estes dados para gerar soluções mais confiáveis; Na aviação estes dados podem auxiliar na definição de rotas aéreas, redefinição ou cancelamento de vôos, isto, com base nas informações sobre a atividade de relâmpagos; Podem ser aplicados no monitoramento de incêndios, bem como para apurar as causas de tais incêndios; No planejamento de sistemas de proteção; Os relâmpagos podem ser um parâmetro para estudar e monitorar as variações climáticas que estão ocorrendo nos últimos anos. São importantes para os estudos climáticos em áreas urbanas; Outro ponto de capital importância refere-se a contribuição para as pesquisas científicas, visto que estes fenômenos possuem relação direta com a manutenção do Circuito Elétrico Atmosférico Global. Desta forma as informações desta natureza são relevantes por apresentarem aplicação, tanto no âmbito científico, ajudando a explicar fenômenos ainda não totalmente conhecidos, como para a aplicação direta, em estações meteorológicas, aeroportos, empresas de energia e de telecomunicações, entre outras.

## **B. Trabalhos a Submeter**

### **B.1. “Aplicação de recursos do software Surfer na Eletricidade Atmosférica”**

Evento: Congresso Brasileiro de Geofísica, a ser realizado de 07 a 11 de novembro de 2004, na cidade de Salvador – BA.

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

## **RESUMO**

Procuramos neste trabalho expor os resultados da análise de dados obtidos pelo sensor LIS no período de 1 a 31 de março de 2004, sobre o Rio grande do Sul (-49.706W a -57.642W; -27.080S a -33.750S), a partir da manipulação através do software Surfer, bem como observar as possibilidades de análise de dados de relâmpagos associadas a

este software. Os resultados concordam com as características geográficas da região. No entanto, procuramos validar o software Surfer para a análise de dados obtidos pelo sensor LIS. Assim sendo, pode se fazer uma sobreposição de imagens, integrando dados de data, hora, órbita, tempo de duração (ms), radiância, eventos, bem como de localização. Para a margem de erro do sensor LIS, estes dados não oferecem respostas precisas, de forma que a medida em que diminui o erro, é possível estabelecer correlações mais apropriadas.

## ABSTRACT

Results of analyses obtained by the manipulation through Surfer software for LIS data from 1 to 31 March, 2004, on Rio Grande do Sul (-49.706W a -57.642W; -27.080S a -33.750S) are exposed, specially to observe the possibilities of lightning data analysis associated to this software. The results shown it suitable with geographical characteristics of the area. However, we sought validate the Surfer software for the data obtained by sensor LIS. Such as, it can be made image overlays, integrating date data, hour, orbit, time of duration (ms), radiance, events, as well the location (Lat, Lon). For the error of LIS, these data do not offer good answers, in the way that, when reduces the mistake, it is possible to establish more appropriate correlations.

## INTRODUÇÃO

A importância dada aos fenômenos atmosféricos é observada claramente hoje, onde os efeitos das mudanças climáticas são evidentes e há a necessidade cada vez maior da criação de fontes e bancos de dados para compreender essa dinâmica. Os estudos envolvendo descargas atmosféricas são importantes para a sociedade, especialmente pelas das redes de detecção de relâmpagos, que servem como uma notável fonte de dados para a análise, proteção e precaução de acidentes envolvendo estes fenômenos, principalmente pelo fornecimento de informações temporo/espaciais. Da mesma forma, os sensores orbitais, como o LIS, são capazes de fornecer dados sobre a variação espacial das descargas elétricas. Assim, procuramos usar dados do LIS (Lightning Imaging Sensor) para o Rio Grande do Sul, bem como sua análise pelo software surfer,

buscando uma validação dos dados sob diferentes funções/parâmetros e a validação do software para os demais dados de descargas atmosféricas, especialmente da RINDAT.

## METODOLOGIA

Foram usados dados do LIS (GHRC/NASA), para o intervalo de 1 a 30 de junho de 2004, prescritos para as coordenadas correspondentes ao Rio Grande do Sul (-49.706W a -57.642W; -27.080S a -33.750S). Estes dados foram processados e validados/corrigidos (Excel), e posteriormente processados no software Surfer, resultando em gráficos de isolinhas, tridimensionais e gráficos de pontos, definidos para determinadas coordenadas. A partir dos gráficos passou-se a análise.

## RESULTADOS

Os resultados mostram as possibilidades de uso do software Surfer e dos dados do LIS, a aplicação destes para as condições do Rio Grande do Sul, dadas as suas coordenadas e máscara de limites políticos e corpos hídricos.

O uso dos dados fornecidos pelo sensor LIS<sup>1</sup> (Lightning Imaging Sensor), embora tenha limitações quanto à captura dos dados, ou seja, pelo não imageamento de todas tempestades; por detectar todos os tipos de relâmpago sem distinção; devido à resolução (3 a 6 km); e ao fato de ter um tempo de 90 segundos para o imageamento em cada ponto. No entanto, possibilita a análise em escalas maiores, tendo eficiência de 90% para os dados detectados (Christian *et al.* 1999). Isto se observa nas descargas sobre o oceano, que têm um acúmulo de eventos significativo, o que leva a considerar aspectos como umidade e o total de aerossóis para a formação de tempestades (Williams & Stanfill, 2002); e na Serra geral (estendendo se por todo o norte do Rio grande do Sul), o número de relâmpagos não varia seguindo a variação da altitude (Breunig *et al.*, 2004; Bourscheidt *et al.*, 2004).

---

<sup>1</sup> Com os direitos reservados ao Grupo de Eletricidade Atmosférica e Relâmpagos (Lightning & Atmospheric Electricity Research) do Global Hydrology and Climate Center (GHCC)-NASA.

Com relação ao software Surfer, destacamos a aplicação na análise dos dados nos diferentes âmbitos (variação temporal, espacial, densidade, etc.), com possibilidades de análise para todos tipos de dados oferecidos pelo LIS: radiância, tempo, o total de eventos e grupos de descargas, além de data, hora, latitude e longitude.

Cada resultado pode ser visto de diferentes formas em função do objetivo, como é visto na Figura 1, que mostra as descargas associadas aos dias em que elas ocorreram (para o mês de junho de 2004). Esta demonstração pode ser útil para o caso da sobreposição de diferentes mapas, como por exemplo, uma associação entre os a quantidade de eventos, a radiância ou ainda o tempo de duração (Figura 2), pois, a partir das possibilidades oferecidas pelo software, pode-se ter uma melhor interpretação dos dados para análise.

Pela análise se observa que, através do processamento dos dados no software Surfer, é possível uma análise condizente com situações temporais do local (Sartori, 1993), como é visto na Figura 1, onde a localização das descargas ocorre de forma linear (sentido NW-SE) para os diferentes dias, o que sugere que estas descargas estejam associadas a sistemas frontais e grandes complexos convectivos.

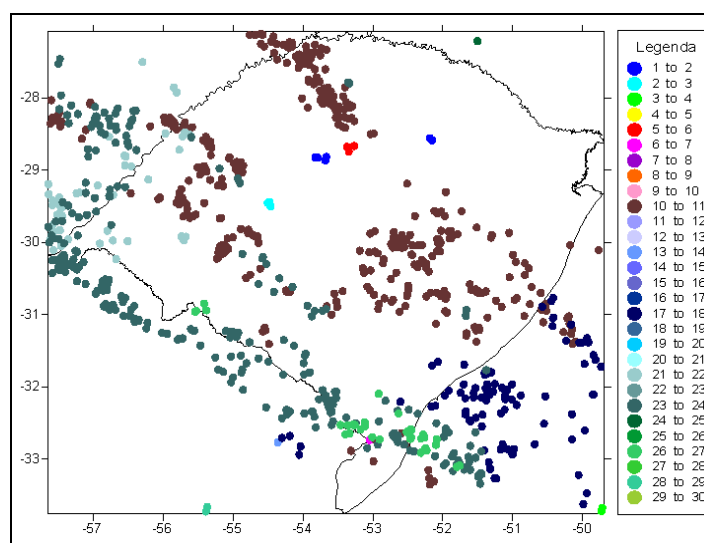


Figura 1 – Localização diária das descargas (junho de 2004).

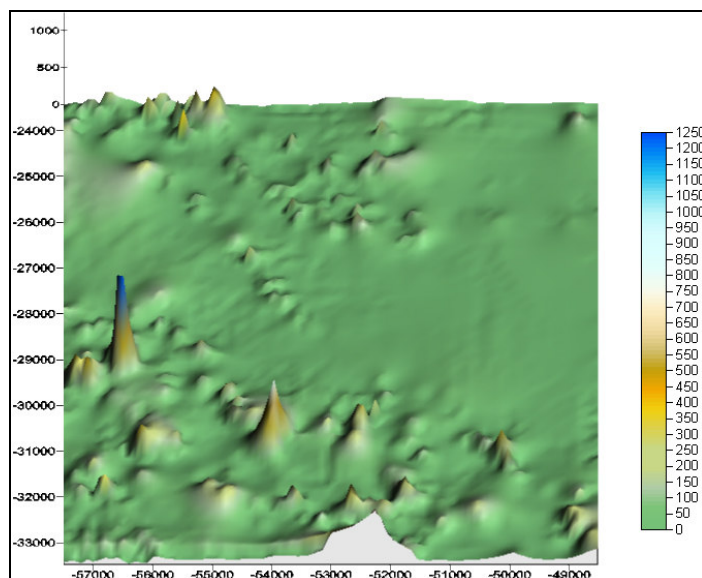


Figura 2 – Distribuição de Relâmpagos no mês de junho 2004(Eventos).

Podemos observar a relação de proporção entre o total de eventos, a radiância e o tempo, onde semelhanças são observadas para os parâmetros (porém com unidades de mensuração diferentes) e uma semelhança visual pode ser identificada. Esta relação indica o local de maior ocorrência de relâmpagos.

Um aspecto muito importante é a possibilidade de se usar diferentes camadas, adicionando, por exemplo, um mapa base às coordenadas analisadas. O software Surfer permite que se plote uma base georeferenciada, permitindo uma localização exata do local de ocorrência dos relâmpagos. Assim, podem ser analisados pontos e áreas determinadas, possibilitando análises locais detalhadas.

Ainda com relação ao Surfer, tem ressalva a aplicação dos seus recursos para os (futuros) dados da RINDAT (Rede Nacional Integrada de Detecção de Relâmpagos), que fornecerá dados com grande precisão e ideais para a análise, oferecendo resultados mais contundentes.

## CONCLUSÕES

Dentre as diversas ferramentas para a análise e representação de dados georeferenciados disponíveis atualmente, o software Surfer oferece múltiplas possibilidades para a integração de diferentes variáveis. A representação espacial e da

evolução temporal dos relâmpagos ficam bastante claras com o uso desta ferramenta, conforme é mostrado no trabalho. As soluções geradas pelo aplicativo possibilitam uma melhor interpretação dos relâmpagos e suas características (no caso a radiância, o tempo e o total de eventos). Portanto, da mesma maneira que a adoção deste para os dados do sensor LIS já oferece grandes recursos de análise, mesmo considerando a pequena precisão dos dados, ele seria muito útil na análise de dados gerados pela RINDAT, com dados em tempo reais e com grande precisão, tendo inúmeras possibilidades de análise.

## **B.2. “Um caso de tempestade em Santa Maria – RS – Brasil”**

Evento: IX Congreso Argentino de Meteorologia CONGREGMET IX, a ser realizado de 03 a 07 de outubro de 2005 na cidade de Buenos Aires – AR.

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

### RESUMO

A ocorrência de fenômenos atmosféricos extremos normalmente desperta mais interesse, visto sua magnitude e conseqüências. O objetivo é analisar a tempestade de 11/09/2002 na cidade de Santa Maria, no Centro do Rio Grande do Sul - Brasil. Utilizamos dados CDC-GrADS, imagens GOES, entre outros dados. Os mapas mostram as características da Atmosfera nos dias analisados e permitem que acompanhem sua evolução. Em geral os mapas com as médias diárias não permitiram boas interpretações em relação à tempestade. Os mapas do dia 11 que a pressão estava bastante baixa pela manhã, com alta saturação de umidade, cobertura total de nuvens, e destacamos a componente U (zonal) dos ventos, que no momento da tempestade apresentou índices bastante elevados. Os ventos podem ser classificados como F1 ou T2. A origem da tempestade parece estar relacionada à combinação da ação da frente fria e de instabilidades tropicais vindas de N-NW.

### ABSTRACT

The occurrence of extreme atmospheric phenomena usually produces more interest, since its magnitude and consequences. Our objective is to analyze the storm of sep. 11-2002 in Santa Maria's city of Rio Grande do Sul of Brazil. We used CDC-GrADS data, GOES images, and other available data. The maps show the characteristics of the Atmosphere in the analyzed days and it allow studying its evolution. In general the maps with daily average rates did not allow good interpretations in relation to the storm. The maps of sep. 11 show that the pressure was low at morning, with high humidity saturation, total clouds coverage and we detached the U (zonal) component of the wind, which in the moment of the storm presented quite high indexes. According to the wind speed, the storm can be classified like F1 or T2. The origin of the storm seems to be related to the combination of the cold front action and of tropical instabilities comings of N-NW.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos atmosféricos ainda é intrínseca do conhecimento e tecnologia humana. Assim, não é possível evitar ou controlar estes fenômenos. A dinâmica atmosférica muitas vezes produz fenômenos extremos, que implicam desastres naturais e mortes, dependendo de sua magnitude. Apresentamos uma rápida abordagem do “vendaval”/tempestade que ocorreu na cidade de Santa Maria no dia onze de setembro de 2002, analisando dados GrADS – CDC, relacionados a temperatura, pressão, ventos, umidade e cobertura de nuvens, em escala sinótica. Estes dados foram plotados e analisados. Como resultado apresentamos o enquadramento deste vendaval na escala Fujita e na escala TORRO, discussões sobre as características e evolução dinâmica da Atmosfera relativa a este evento.

## METODOLOGIA E MATERIAL

Os dados são oriundos do banco de dados da subdivisão da National Oceanic Atmospheric Administration – NOAA, o Climatic Diagnostics Center – CDC. Estes dados foram analisados com o uso do aplicativo GrADS - Grid Analysis and Display System, desenvolvido pela COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies. A



classificação do evento foi feita utilizando a escala Fujita e a escala TORRO, criada pela TORnado and storm Research Organisation. Estes dados foram estudados para as áreas compreendidas entre as coordenadas de 280E – 320E de longitude e 20S – 40S de latitude. Resalta-se que a cidade de Santa Maria esta situada entre as latitudes de 29°23'00" a 30°00'00" sul, e longitudes de 53°15'00" a 54°00'00" oeste. A análise foi feita a partir dos mapas e dados de outras fontes. A classificação da tempestade é feita combinando as escalas Fujita e TORRO, que são apresentadas na Tabela 1. Os valores fornecidos pelo GrADS referem-se a medidas instantâneas para um determinado horário. A cobertura espacial destes dados é de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude.

Analizamos uma imagem do satélite GOES, focando a região exatamente na hora em que ocorreu a tempestade. Esta imagem foi obtida diretamente do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE – MCT. A carta METAR da Aeronáutica foi estudada. As imagens do GOES e carta METAR são utilizadas como uma forma de comparar e mostrar a relação entre as mediadas GrADS e os dados de estações meteorológicas e de satélites.

escala Fujita e escala torro												
Efeitos	-					Significativo						
Percepção	"Fraco"			Forte				Violento				
Fujita	F0		F1		F2		F3		F4		F5	
TORRO	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
V em ms <sup>-1</sup>	17-25	25-33	33-42	42-51	51-61	61-71	71-82	82-93	93-105	105-117	117-130	130-143
V em Km/h	76±14	104±14	135±16	167±16	202±18	238±18	275±20	315±20	356±20	400±22	445±23	491±23

Tabela 1 – Escala Fujita e Escala TORRO

Fonte: Adaptado de Nikolai Dotzek, 2000.

## RESULTADOS

Nos resultados apresentamos uma breve discussão sobre os diferentes mapas analisados, começando com a análise dos mapas das médias diárias e seguindo com a discussão sobre a configuração das condições atmosféricas para diferentes horas do dia. Os mapas

referem-se essencialmente ao dia 11 de setembro de 2002, porém para a análise estudamos os mapas para os dias anteriores e posteriores, que não apresentamos neste trabalho.

As médias diárias de precipitação em superfície, apresentadas na Figura 1, nos mostra a evolução de sudeste para Noroeste da precipitação. Assim, no dia 11 de setembro de 2002, uma concentração é verificada no Oeste do Rio Grande do Sul, chegando a valores superiores a  $45 \text{ Kg/m}^2$ .

O comportamento da pressão atmosférica em superfície é mostrado na Figura 2. Percebemos que tanto para a média do dia 11 quanto da média dos 5 dias existe um núcleo de baixa pressão no noroeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os valores chegam a cerca de 930 mb. Em Santa Maria, no dia 11 de setembro a pressão média foi de menos de 1000 mb. Esta baixa se acentuou mais ainda na hora da tempestade, o que provocou fortes ventos na região de Santa Maria. As informações sobre os ventos serão apresentadas em seguida, de forma a integrar todas as variáveis.

Em relação à temperatura, os mapas CDC-GrADS mostram que no dia 11 a média de temperatura foi de cerca de  $20^\circ\text{C}$ . Este valor foi superior à média da temperatura antes e depois da tempestade, sendo que isto pode ser visto na Figura 3. Com a elevação da temperatura tivemos uma diminuição da pressão em superfície, conforme mostrado na Figura 2. Esta diminuição de temperatura provoca uma aceleração dos ventos na direção das áreas de baixa pressão.

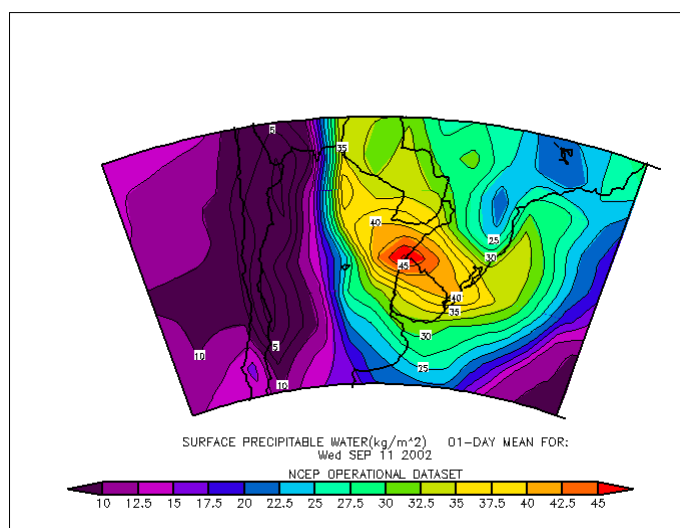


Figura 1 – Total diário de precipitação para o dia 11 de setembro.

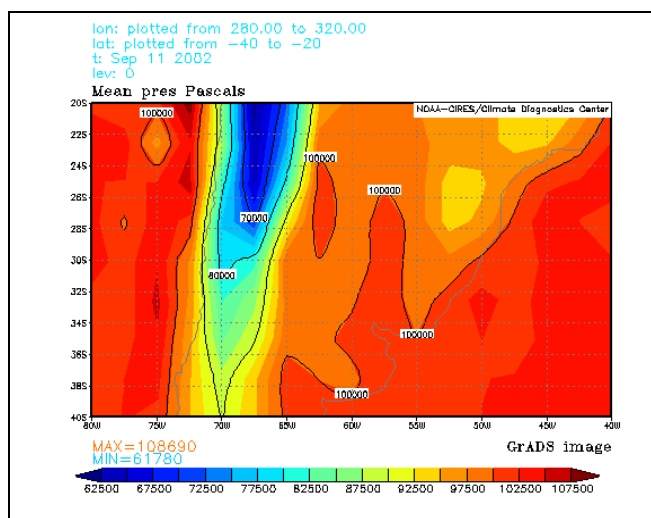


Figura 2 – Pressão medida nas estações, para o dia 11 de setembro.

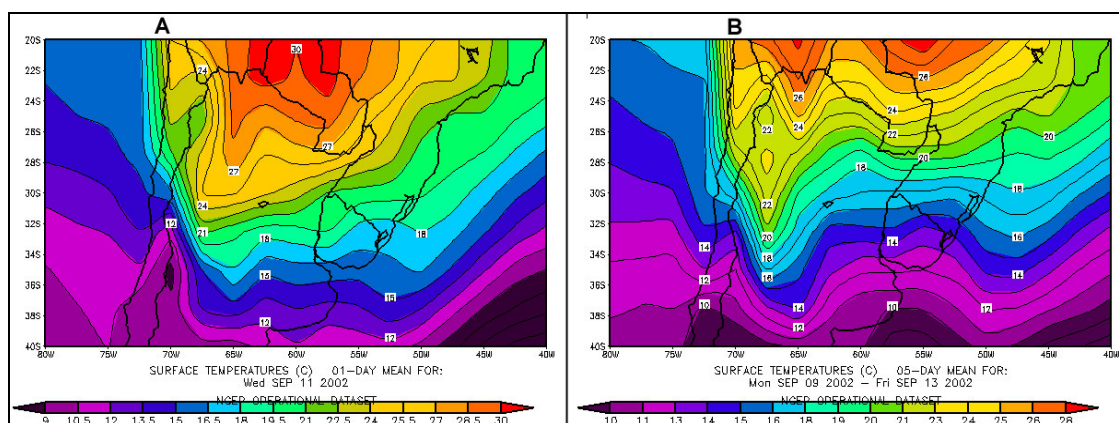


Figura 3 – A) Temperatura média do ar para o dia 11 de setembro, em superfície. B) Temperatura média para os dias 09 a 13 de setembro, em superfície.

A umidade relativa em Santa Maria no dia 11 foi de cerca de 80% e na média dos 5 dias o total ficou em cerca de 70%. No momento da tempestade ocorreu a saturação do ar, provocando chuvas intensas e ventos. As células que apresentam maior concentração de umidade coincidem com as áreas de mais baixa pressão, conforme a Figura 2. A umidade relativa deve sempre ser confrontada com a temperatura, visto que é calculada a partir da temperatura da Atmosfera no instante de medida. O valor de cerca de 20°C, associado a alta concentração umidade pode ter favorecido o desenvolvimento da

tempestade. Os campos de ventos no dia 11 de setembro apresentaram uma velocidade média de 7 m/s. No dia 11 havia um centro de ventos mais intensos na latitude da foz do Rio da Prata, apresentando ventos com velocidade superior a 18 m/s. Sem relacionar outros dados percebemos que é muito difícil inferir maiores informações sobre esta tempestade, que foi de pequena escala espacial e temporal. Assim, com informações de diferentes horários, apresentamos aspectos mais detalhados sobre o evento. Outra fonte de dados que apresentaremos é a imagem de satélite e a carta de superfície METAR da aeronáutica, de forma a ampliarmos a base para estudar este fenômeno isolado que atingiu a cidade de Santa Maria em setembro de 2002.

A temperatura potencial foi avaliada para as 12h00minh UT, considerando o horário da tempestade. Apresentando no momento da tempestade uma temperatura potencial da ordem de cerca de 295 degK, conforme pode ser visto na Figura 4. Esta temperatura representa a temperatura que a Atmosfera teria se toda a umidade presente numa parcela de ar condensasse e a energia liberada fosse usada para aquecer esta parcela de ar.

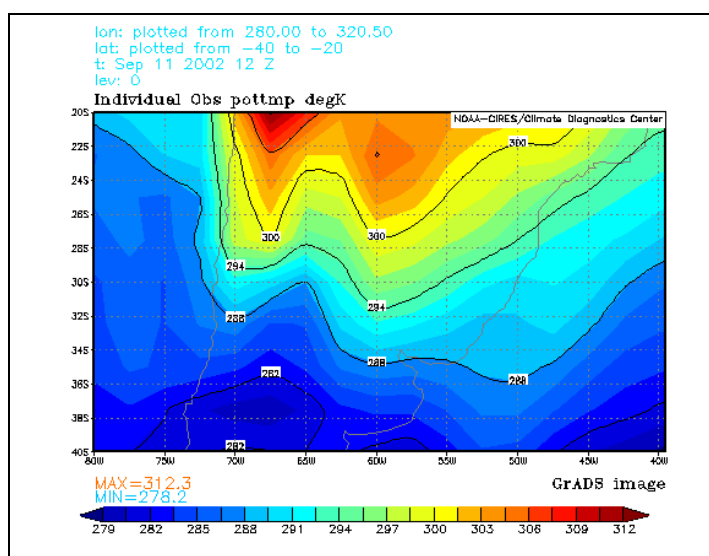


Figura 4 – Temperatura potencial.

Uma variação nas isotermas pode ser constatada no período em que ocorreu a tempestade. Como a tempestade ocorreu por volta das 09h00min da manhã de 11 de setembro a Figura 5 se torna interessante por mostrar as características da Atmosfera no momento da ocorrência do fenômeno.

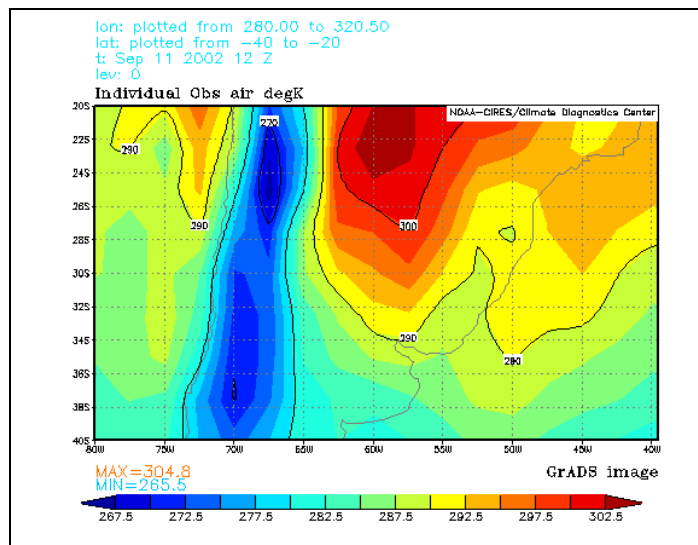


Figura 5 – Isotermas as 12h00min UT do dia 11 de setembro de 2002.

Informações sobre a pressão as 12h00minh UT são apresentadas na Figura 6A. Os valores em pascal nos mostram que a pressão estava bastante baixa, cerca de 97500 pascal, porem um núcleo com valores inferiores estava sobre o Norte do Rio Grande do Sul e sobre Santa Catarina. Este fato é típico de zonas de convergência de massas de ar, frentes, núcleos convectivos, entre outros. Como sabemos, a umidade relativa, retratada na Figura 6B, depende da temperatura do ar, assim, tendo 100% de umidade relativa, sabemos que esta chovendo. Entretanto com aproximadamente 90% de umidade relativa, o vapor condensa e provoca chuva. As 12h00minh UT do dia 11 de setembro de 2002 a região de Santa Maria, estava com 100% de umidade relativa, ou seja, estava chovendo. Fato comprovado se nos basearmos nos dados da estação meteorológica instalada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, que faz parte da rede do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e com base na Figura 6C, que se refere a precipitação neste horário. Os valores de precipitação para as 12h00minh UT formam estimados em cerca de  $40 \text{ kg/m}^2$ , A cobertura de nuvens no mesmo horário da tempestade foi de 100%, conforme pode ser visto na Figura 6D.

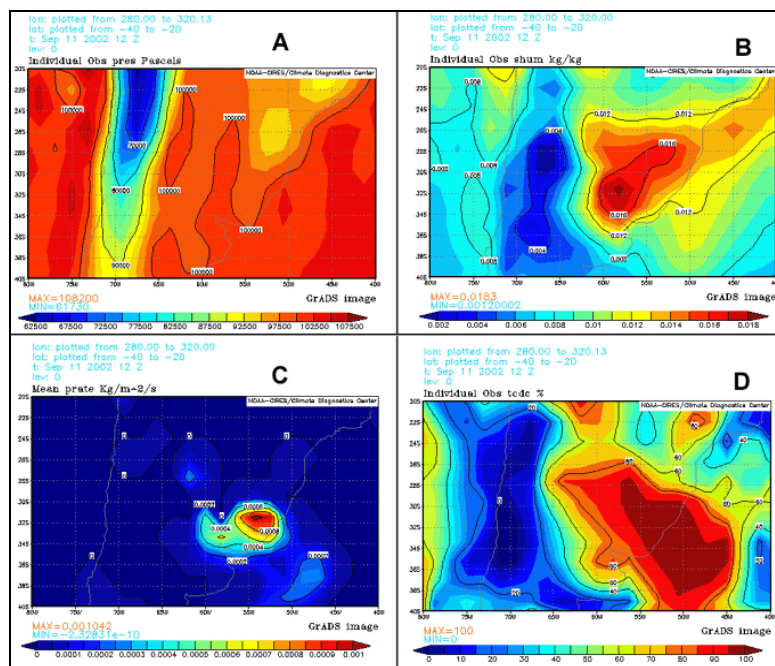


Figura 6 – A) Pressão. B) Umidade relativa. C) Precipitações. D) Cobertura de nuvens. Dados referentes ao dia 11 de setembro de 2002

Os campos de vento, das componentes zonal – U e meridional – V, associados à dinâmica atmosférica no momento da tempestade, são apresentados na Figura 7. Os ventos zonais – U, mostram a formação de uma célula de maior intensidade dos ventos, que não é evidenciada pelos ventos meridionais.

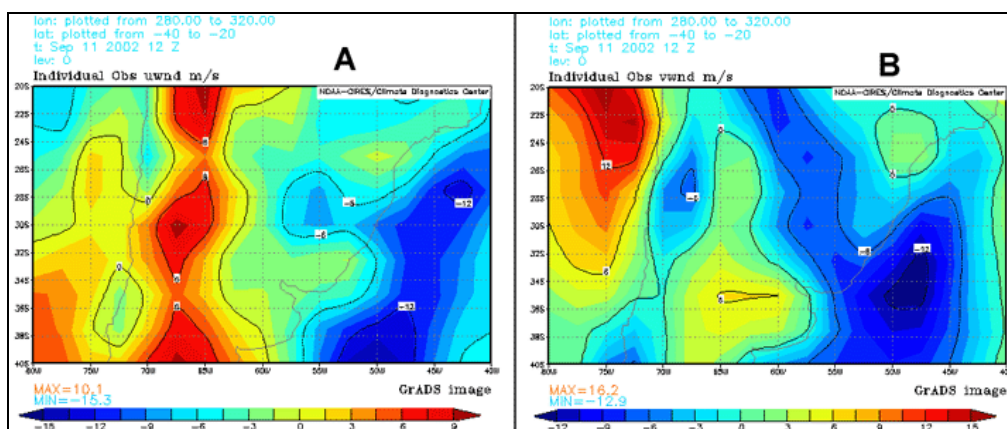


Figura 7 – a) componente U, zonal. b) Componente V, Meridional. Ambos para as 12:00h UT

A imagem de satélite GOES do dia 11 de setembro, no momento da tempestade, mostra a presença de uma alta nebulosidade, em grande escala, cobrindo praticamente todo o Estado do Rio Grande do Sul, que confere com a carta METAR da aeronáutica, conforme a Figura 8. As imagens anteriores mostram que uma frente polar estava sobre o Uruguai e se dirigindo para o Rio Grande do Sul no dia 10 de setembro. Na hora da tempestade, a região de Santa Maria estava sob uma frente fria, que havia sido reforçada pelas Instabilidades Tropicais vindas de Noroeste e Norte. As Instabilidades Tropicais, que Nimer (1979), chama de Correntes Perturbadas de Oeste, ao se chocarem com a frente fria, possibilitaram o desenvolvimento de uma intensa nuvem cumulonimbus, que provocou os fortes ventos, que chegaram a 140 km/h. Junto aos fortes ventos, tivemos a ocorrência de granizo.

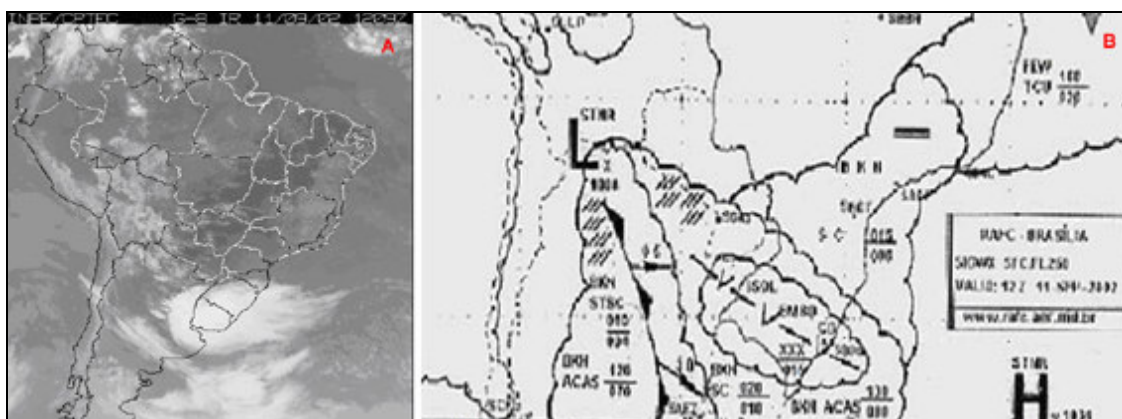


Figura 8 – A) Imagem do satélite GOES-12 do dia 11/09/2002 às 9:09 LT. Fonte: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br). B) Adaptação da Carta METAR para as 12 Z. Fonte: [www.redemet.era.mil.br](http://www.redemet.era.mil.br).

Segundo as escalas TORRO e Fugita tivemos no dia 11 de setembro, um evento classificado como T2 ou F1 respectivamente. Devemos mencionar o fato de que as escalas acima mencionadas normalmente são utilizadas para classificar tornados ou furacões. Assim, lembramos que a tempestade, ou como é chamado localmente, tormenta ou vendaval, não foi um tornado ou furacão, visto que suas características são bastante diferentes.

## CONCLUSÕES

A partir do estudo e interpretação de diferentes bancos de dados, como CDC-GrADS, imagens GOES, dados da estação meteorológica do 8º Distrito do INMET em Santa Maria, entre outros, podemos inferir uma série de informações a respeito deste fenômeno atmosférico, tais como o fato de ter apresentado ventos com velocidades de 140 km/h, os classificando como um F1 ou T2, no entanto não foi um tornado ou ciclone. Este evento que assolou Santa Maria no dia 11 de setembro de 2002 resultou da combinação das correntes perturbadas de Oeste com a chegada de uma frente fria, que juntas provocaram o desenvolvimento de uma nuvem cumulonimbus. Ressaltamos ainda que os prejuízos causados pela tempestade foram significativos, levando a cidade a decretar estado de emergência. Desta forma esperamos ter contribuído de forma significativa, através deste estudo de caso, para a Ciência Pura e Aplicada.

### **C. Relatório sobre a viagem à Uruguaiana e Santa Rosa**

#### **1. Apresentação**

O presente relatório se refere às atividades desenvolvidas durante os dias 18 e 19 do mês de outubro do ano de 2004, onde se buscou apoio, especialmente logístico, junto à instituição de Ensino, Pesquisa e Extensão Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul PUC/RS – Campi Uruguaiana, no que se refere à realização da Campanha para monitoramento, acompanhamento e medidas de Sprites no Sul do Brasil – Campanha Sprite Brasil.

A visita foi realizada pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, acompanhado do acadêmico Vandoir Bourscheidt (Geografia e Meteorologia/Iniciação Científica no Laboratório de Eletricidade Atmosférica – CRSPE/INPE), sendo esta a comissão criada junto ao CRSPE/INPE para o contato e interação entre as Instituições, buscando o apoio e ainda possíveis convênios com a PUC/RS Uruguaiana<sup>2</sup>(Figura 2), bem como possíveis interações com a PUC Campus Universitário Central<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Localizado na BR 472, km 7, Cx. Postal 249, CEP 97500-970 Uruguaiana, RS.

<sup>3</sup> Localizado na Av. Ipiranga, 6681 - Partenon - Porto Alegre/RS - CEP: 90619-900 - Fone: (51) 3320-3500.



Além destes, a Instituição possui campus na Zona Norte da Capital<sup>4</sup>(Figura 3).

Já com relação ao CRSPE/ INPE, este se trata de uma Unidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – localizada no Centro do Estado do Rio Grande do Sul, o qual ainda acompanha o Observatório Espacial do Sul – OES (Figura 1) – que é resultado da parceria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais com a Universidade Federal de Santa Maria /INPE – UFSM.

A sede do INPE encontra-se localizada em São José dos Campos<sup>5</sup> (Figura 4), tendo esse ainda outras unidades localizadas em diferentes pontos do país.

## 2. Objetivos

Buscou-se apoio logístico para a instalação de equipamentos durante o decorrer da Campanha Sprite Brasil, adjunto da identificação de locais suscetíveis à instalação dos equipamentos. Ainda se buscou a disponibilidade de serviços de acesso a rede, disponibilidade de energia elétrica, locais seguros para guardar o material utilizado, disponibilidade de hotéis e pousadas, etc.

Além dos aspectos referentes à realização da Campanha, ainda se buscou uma possível integração/convênio entre as instituições INPE e PUC/RS.

## 3. Procedimentos

Durante a visita a PUC/RS, Campi Uruguaiana, teve-se a princípio uma visita as instalações ali dispostas, tomando conhecimento das atividades desenvolvidas dentro do Campi, dos cursos oferecidos, e das pessoas que possuem alguma ligação com as áreas de estudo que envolvem os *sprites* (física, engenharia elétrica, geografia, meteorologia, etc.). O acompanhamento da visita foi feito pelo Professor e Coordenador Acadêmico Protásio Pletsch.

---

<sup>4</sup> Localizado na Av. Baltazar de Oliveira Garcia, 4879– CEP 91180-001, fone: (51) 3366-8242 fax: (51) 3366-4215 – Porto Alegre/RS.

<sup>5</sup> Av. dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja - CEP 12227-010, Fone: 55-12-3945-6000 São José dos Campos, SP – Brasil.

Em seguida passou-se a uma reunião com os dirigentes: Prof<sup>a</sup>. Maria de Lourdes S. Villela (Diretora Geral), Prof. Protasio Pletsch (Coordenador Acadêmico), Prof<sup>a</sup>. Luciana Marini Köpp (da área de Meteorologia) e Prof. Henrique Querol Chiva (assessor de pesquisa). Na reunião foram apresentados os objetivos, materiais e procedimentos na realização da Campanha Sprites Brasil aos dirigentes da Instituição, o interesse na parceria com a PUC/RS Campi Uruguaiana durante a Campanha, bem como a intenção de possíveis convênios entre as Instituições em atividades de pesquisa e extensão.

#### 4. Resultados

A infraestrutura da instituição é obviamente satisfatória, com laboratórios bem implementados, biblioteca com acervo considerável, salas de teleconferência, entre outros.

Com relação à busca de parceria durante a campanha, a aceitação foi boa. Foi fornecido apoio no que se refere a questões de rede e instalações elétricas, sendo as questões de rede ainda discutíveis, buscando a melhor forma de transmissão dos dados, o que poderá vir a ser estabelecido em um próximo contato. Foi sugerida a busca de integração junto a PUC/RS no Campus Central e Porto Alegre, na qual se encontram cursos mais voltados a esta área de estudo, com maior possibilidade de integração e parceria. No Campus Central estão disponíveis cursos como Física, Engenharia Elétrica, Ciências Aeronáuticas, etc. Sugeriu-se um contato mais próximo a reitoria, no Campus Central.

No tocante a um lugar para guardar o equipamento nos períodos sem coleta de dados, a instituição oferece boa infraestrutura, com apoio de segurança, vigilância, etc., sendo um lugar seguro.

Já quanto ao relevo, a região de um modo geral não apresenta elevações que possam ser consideradas, não havendo um lugar alto (específico) para a instalação do equipamento. Com relação à luminosidade, a universidade se encontra a 7 km da cidade, sendo um local relativamente isolado e, portanto, sem muitos problemas com a

luminosidade da vizinhança. A distância de Uruguaiana a Santa Maria, em linha reta, é de aproximadamente 320 km, sendo a cidade localizada às margens do Rio Uruguai.

Quanto à busca de convênios entre o CRSPE/INPE e a PUC/RS, a aceitação foi muito amigável, sendo já encaminhado a um próximo passo a elaboração/implementação de um convênio. Este convênio seria a princípio com a PUC/RS de Uruguaiana, passando posteriormente a um convênio entre a PUC/RS no seu âmbito geral.



Figura 1 – Localização do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE

Fonte: adaptado de:

<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/infoclima/especial3/brasil.jpg>,

[http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil\\_mapa.gif](http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil_mapa.gif)

<http://www.transportes.gov.br/bit/mapas/mapclick/ufs/rs.jpg>

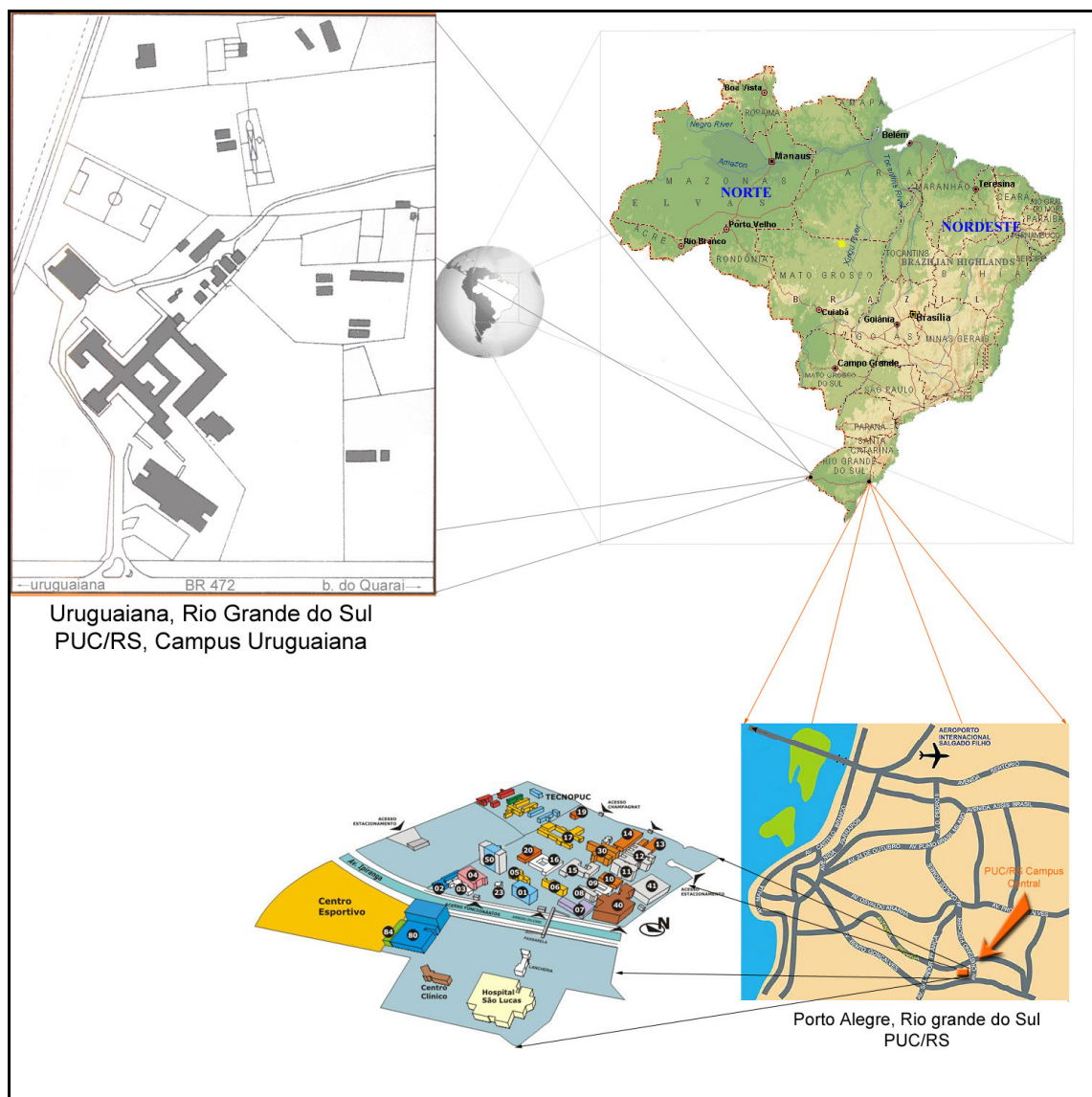


Figura 2 – Campus Central PUC/RS.

Org: Bourscheidt, 2004.

Fonte: adaptado de: guia acadêmico 2004, PUC/RS Câmpus Uruguaiana.

<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/infoclima/especial3/brasil.jpg>,

[http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil\\_mapa.gif](http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil_mapa.gif)

<http://www.em.pucrs.br/ett2004/images/mapapoa.jpg>

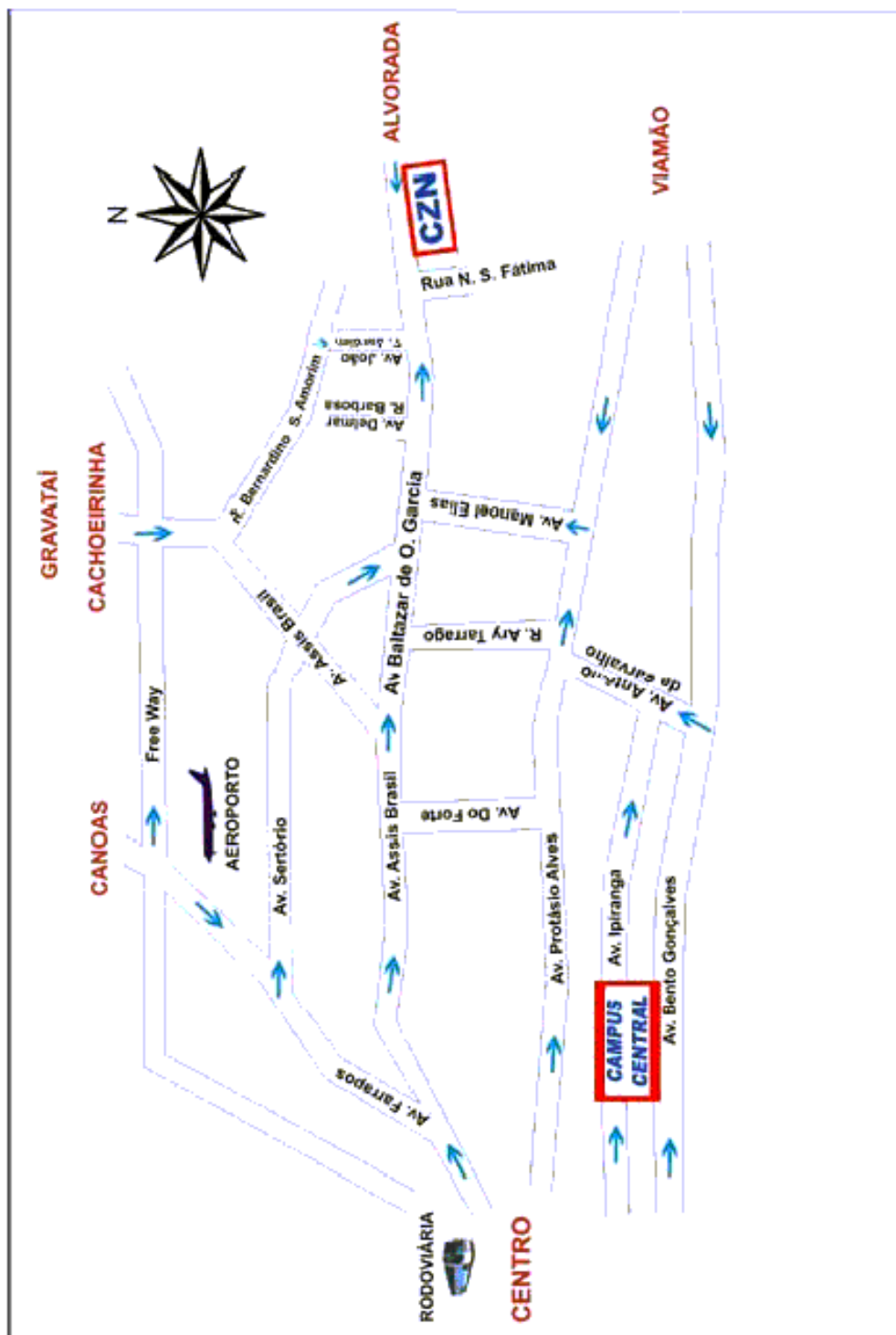


Figura 3 – Mapa do Campus Zona Norte PUC/RS.

Fonte: <http://www.pucrs.br/czn/como.php>

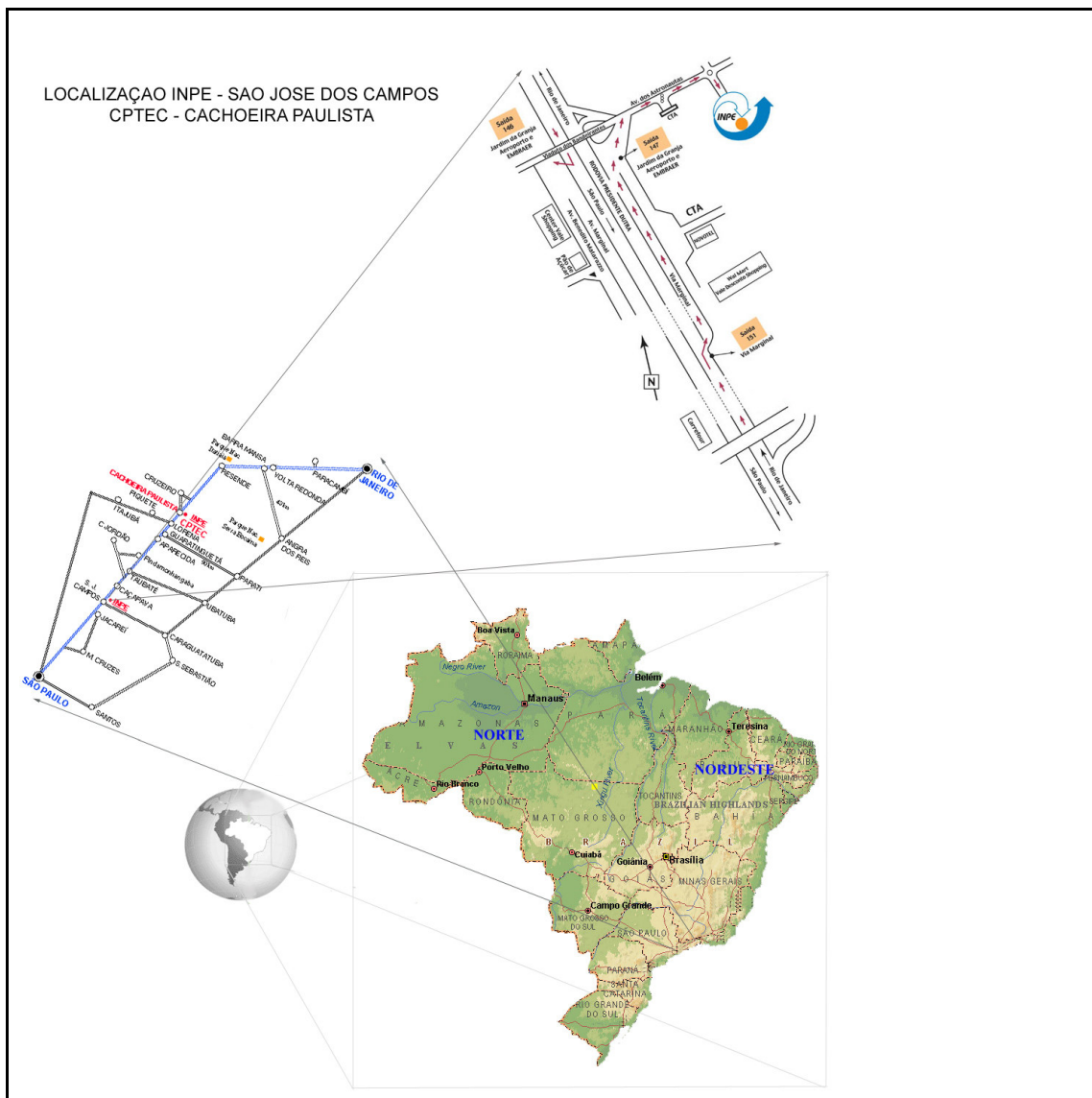


Figura 4 – Mapa Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Sede SJC.

Fonte: adaptado de:

<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/infoclima/especial3/brasil.jpg>,

[http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil\\_mapa.gif](http://www.ptmmundubat.org/img/imagenes/brasil_mapa.gif)

[http://www.inpe.br/sobre\\_o\\_inpe/mapa\\_inpesjc.jpg](http://www.inpe.br/sobre_o_inpe/mapa_inpesjc.jpg)

<http://www.cptec.inpe.br/icones/maps/mapinpe.gif>

OUTRAS FOTOS:



Vista Aérea do Campus PUC/RS Uruguiana.



Vista do Campus Central na Av. Ipiranga, POA.