



ESTUDOS DE SPRITES E EVENTOS LUMINOSOS TRANSIENTES (TLEs)

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

PROCESSO 104.228/2007-5

Caitano Luiz da Silva – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica
LMLA/CRS/CIE/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: caitano@lacesm.ufsm.br

Fernanda de São Sabbas Tavares – Orientadora
Divisão de Aeronomia
DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE – MCT
E-mail: saosabbas@dae.inpe.br

Santa Maria, junho de 2008



**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA DO PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROJETO

**ESTUDOS DE SPRITES E EVENTOS LUMINOSOS
TRANSIENTES (TLEs)**

PROCESSO 104.228/2007-5

**Relatório elaborado por Caitano Luiz da Silva relatando as atividades
executadas por:**

Caitano Luiz da Silva – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: caitano@lacesm.ufsm.br

Micael da Silva Bacellar – UFSM, Bolsista Substituído

E-mail: micaelbacellar@gmail.com

Dr^a. Fernanda de São Sabbas Tavares – Orientadora,

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT

E-mail: saosabbas@dae.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-orientador,

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro – Co-Orientadora,

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria –

LACESM/CT – UFSM

E-mail: damariskp@gmail.com





DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

**ESTUDOS DE SPRITES E EVENTOS LUMINOSOS
TRANSIENTES (TLEs)**

Processo CNPq N°: 104.228/2007-5

Bolsista (abril a julho de 2008):

Caitano Luiz da Silva
Curso de Bacharelado em Física
Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Bolsista Substituído (agosto de 2007 a março de 2008):

Micael da Silva Bacellar
Curso de Engenharia Elétrica
Centro de Tecnologia – CT
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr^a. Fernanda de São Sabbas Tavares
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –
CRS/CIE/INPE – MCT



Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria –
LACESM/CT – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica –
LMLA/CRS/CIE/INPE – MCT

Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e
Ozônio Atmosférico – CRS/CIE/INPE – MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM,
através do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica
– LMLA/CRS/CIE/INPE – MCT com o Laboratório de Ciências
Espaciais de Santa Maria — LACESM/CT — UFSM.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Linha de pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Nome do grupo: Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis

Palavras-chave: Efeitos Biológicos da Radiação Solar - UV; Espessuras Óticas de Aerossóis; Monitoramento Ambiental; Ozônio Estratosférico; Ozônio Troposférico; Radiação Solar e Ultravioleta - UV;

Pesquisadores:

[André Passaglia Schuch](#)
[Augusta Maria Passaglia Schuch](#)
[Carlos Frederico Martins Menck](#)
[Damaris Kirsch Pinheiro](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Fernando Luis Guarnieri](#)
[Lucymara Fassarella Agnez Lima](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jesus Ferreira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Neusa Maria Paes Leme](#)
[Plínio Carlos Alvalá](#)
[Ricardo André Guarnieri](#)

Estudantes:

[Ana Marcell Soares](#)
[Caetano Luiz da Silva](#)
[Germano Possani](#)
[Gustavo Pereira Guerra](#)
[Luana Serafini dos Santos](#)
[Nadira Pereira](#)
[Pabulo Henrique Rampelotto](#)
[Sarah Lemes Freitas](#)
[Simone Spiazzi Favarin](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Ozônio; Ozônio;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Fenômenos Físico - Químicos da Atmosfera;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Influência na Radiação UV;

Setores de aplicação:

Produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

Objetivo:

Monitoramento do Ozônio, da Radiação Solar e Ultravioleta, UV-A (400-320 nm), UV-B (320-280nm), efeitos biológico-genéticos, Aeronomia dos fenômenos físico-químico e dinâmica da Atmosfera Terrestre: análise da concentração do Ozônio; o comportamento de sua "camada", a +/- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores; aerossóis; dados de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na AMAS. Vice-Líder: Damaris K. Pinheiro



Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 17
André Passaglia Schuch	Lucymara Fassarella Agnez Lima
Augusta Maria Passaglia Schuch	Marcelo Barcellos da Rosa
Carlos Frederico Martins Menck	Marcelo Pizzuti Pes
Damaris Kirsch Pinheiro	Nelson Jesus Ferreira
Enio Bueno Pereira	Nelson Jorge Schuch
Ezequiel Echer	Neusa Maria Paes Leme
Fernanda de São Sabbas Tavares	Plinio Carlos Alvalá
Fernando Luis Guarnieri	Ricardo André Guarnieri
Fernando Ramos Martins	
Estudantes	Total: 12
Alexandre Ceretta Dalla Favera	Luana Serafini dos Santos
Ana Marceli Soares	Nadara Pereira
Caitano Luiz da Silva	Pabulo Henrique Rampelotto
Daniel Vinicius Fibrin	Rodrigo Brackmann
Germano Possani	Sarah Lemes Freitas
Gustavo Pereira Guerra	Simone Spiazzi Favarin
Técnicos	Total: 4
Anderson Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica	
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - Outra Função	
Linhas de pesquisa	Total: 2
<ul style="list-style-type: none"> • Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação • Energias Renováveis 	
Relações com o setor produtivo	Total: 0
Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	17
Estudante(s)	12
Técnico(s)	4



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Linha de pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Nome do grupo: [Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis](#)

Palavras-chave: Efeitos Biológicos da Radiação Solar - UV; Espessuras Óticas de Aerossóis; Monitoramento Ambiental; Ozônio Estratosférico; Ozônio Troposférico; Radiação Solar e Ultravioleta - UV;

Pesquisadores:

[André Passaglia Schuch](#)
[Augusta Maria Passaglia Schuch](#)
[Carlos Frederico Martins Menck](#)
[Damaris Kirsch Pinheiro](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Fernando Luis Guarnieri](#)
[Lucymara Fassarella Agnez Lima](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jesus Ferreira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Neusa Maria Paes Leme](#)
[Plínio Carlos Alvalá](#)
[Ricardo André Guarnieri](#)

Estudantes:

[Ana Marcell Soares](#)
[Caitano Luiz da Silva](#)
[Germano Possani](#)
[Gustavo Pereira Guerra](#)
[Luana Serafini dos Santos](#)
[Nadira Pereira](#)
[Pabulo Henrique Rampelotto](#)
[Sarah Lemes Freitas](#)
[Simone Spiazzi Favarin](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra: Geociências; Ozônio; Ozônio;
Ciências Exatas e da Terra: Geociências; Fenômenos Físico - Químicos da Atmosfera;
Ciências Exatas e da Terra: Geociências; Influência na Radiação UV;

Setores de aplicação:

Produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

Objetivo:

Monitoramento do Ozônio, da Radiação Solar e Ultravioleta, UV-A (400-320 nm), UV-B (320-280nm), efeitos biológico-genéticos, Aeronomia dos fenômenos físico-químico e dinâmica da Atmosfera Terrestre: análise da concentração do Ozônio; o comportamento de sua "camada", a +/- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores; aerossóis; dados de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na AMAS. Vice-Líder: Damaris K. Pinheiro



AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch pela oportunidade oferecida no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE - MCT.

A Dr^a. Fernanda de São Sabbas Tavares pela oportunidade e pela orientação.

A Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro pela compreensão e atenção dedicada.

Ao Dr. Celso Arami Marques da Silva.

Aos colegas do CRS, tanto do LMLA, quanto do PMOA, pela ajuda e dedicação oferecidas.

RESUMO

O trabalho apresenta uma revisão geral com a caracterização dos principais fenômenos luminosos que ocorrem na alta troposfera, estratosfera/mesosfera coletivamente denominados como Eventos Luminosos Transientes – TLEs (*Transient Luminous Events*). Dentre eles destacam-se: os *Sprites*, os Halos, os Jatos Azuis (*Blue Jets*) e os Elves (*Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations from Eletromagnetic Pulse Sources*). Os *sprites*, bem como os demais TLEs, são fenômenos luminosos associados à atividade elétrica de sistemas meteorológicos de tempestades e se manifestam na alta estratosfera e na mesosfera, diretamente acima das tempestades, estendendo-se até a região D da ionosfera. *Sprites* são gerados por campos quasi-eletrostáticos de curta duração estabelecidos por descargas elétricas nuvem-solo de polaridade predominantemente positiva. Observações de *sprites* são realizadas utilizando-se câmeras com alta resolução tanto espacial como temporal, capazes de detectar mínimas variações de luminosidade. Dispositivos como estes foram utilizados nas mais importantes campanhas para observação destes fenômenos, como a campanha “*Sprites94*”, que deu origem ao nome do fenômeno. No Brasil já foram realizadas três campanhas internacionais, de 2002 a 2006, e uma campanha nacional, em 2007, nas quais foram observados *sprites* e halos acima de tempestades sobre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, e também sobre a Argentina e Uruguai.

Sumário

1	Introdução	13
2	Conceitos Gerais	15
2.1	A Atmosfera Terrestre	15
2.1.1	Divisão da atmosfera segundo o perfil de temperatura	16
2.1.2	Divisão da atmosfera segundo a composição química	18
2.1.3	Divisão da atmosfera segundo o escape gasoso	19
2.1.4	Divisão da atmosfera segundo o perfil de densidade eletrônica	19
2.2	O circuito elétrico atmosférico global	24
2.2.1	Tempestades como fonte eletromotriz do CEAG	26
3	Eventos Luminosos Transientes	30
3.1	Sprites	32
3.2	Halos	33
3.3	Blue Jets, gigantic jets e blue starters	34
3.4	Elves	36
3.5	Campanhas de observação de <i>sprites</i> no Brasil	38
4	Metodologia	42

5 Resultados **44**

6 Bibliografia **45**

Lista de Figuras

2.1	Camadas da atmosfera.	16
2.2	Classificação da atmosfera segundo o perfil de temperatura. . .	18
2.3	Perfil de densidade eletrônica definindo as regiões ionosféricas.	21
2.4	Magnetosfera terrestre.	22
2.5	Visão simplificada do circuito elétrico atmosférico global. . . .	25
2.6	Curva de Carnegie. Valores médios para o inverno (<i>winter</i>), primavera (<i>spring</i>), verão (<i>summer</i>), outono (<i>autumn</i>) e média anual (<i>annual mean</i>).	25
2.7	Tipos de relâmpagos.	28
3.1	Representação artística dos principais TLEs.	31
3.2	Primeira imagem colorida de um sprite, 4 de julho de 1994 (obtida na campanha “ <i>Sprites94</i> ”).	31
3.3	Anatomia de um sprite.	32
3.4	Foto de um <i>blue jet</i>	35
3.5	Os painéis a a i correspondem a evolução temporal de um fenômeno semelhante a um <i>blue jet</i> que foi classificado como <i>gigantic jet</i> . A coloração das imagens é artificial.	35



3.6	Distribuição temporal de relâmpagos nuvem-solo negativos em um raio de aproximadamente 50 km para 18 eventos de precursores azuis.	36
3.7	Fotografia de um elve obtida sobre a Europa por intermédio de aviões. Esta imagem foi capturada por <i>M. J. Taylor e L. C. Gardner</i> da Universidade do Estado de Utah em 18 de novembro de 1999, durante uma chuva de meteoros.	37
3.8	Imagens obtidas em campanhas em solo brasileiro.	39
3.9	Imagens de tempestades observadas durante as campanhas em solo brasileiro.	41



Capítulo 1

Introdução

Pode-se ressaltar dois objetivos principais neste projeto de iniciação científica.

O primeiro deles é a aquisição de conhecimentos científicos sobre o fenômeno *sprite* e outros fenômenos correlacionados, conhecendo os motivos físicos que levam a sua ocorrência, bem como, identificando sua relação com os relâmpagos e as tempestades associadas. Neste intuito foi realizada uma intensa revisão bibliográfica, alguns tópicos desta revisão estão apresentados neste relatório.

O segundo objetivo é a introdução ao método de investigação científica e seus procedimentos. Aprendizagem dos métodos de obtenção, redução e análise de dados.

O estudo de *sprites* é uma área nova no país, sendo que a única doutora especializada no assunto é a Dr^a. Fernanda de São Sabbas Tavares. Os *sprites* são fenômenos que estão geralmente associados a relâmpagos nuvem-solo positivos, porém possuem muitos aspectos inexplicados até o momento. O Brasil possui alta taxa de ocorrência de relâmpagos¹, o que o torna um local propício para o estudo desta fenomenologia.

Impulsionando a motivação da ciência em entender e explicar os *Sprites*,

¹Para maiores informações ver *Pinto Jr. e Pinto*, 2000, p. 165.



está a preocupação com as atividades aeroespaciais realizadas na região de 20 a 100 km, onde os eventos luminosos transientes geralmente acontecem. A importância destes eventos, em especial dos *sprites*, consiste no fato que eles constituem um conjunto de evidências observáveis do acoplamento eletrodinâmico entre as camadas atmosféricas, tanto a nível local, quanto global.

Vale ressaltar que as atividades desenvolvidas neste projeto foram executadas por dois alunos, na primeira parte do período de vigência, de agosto de 2007 a março de 2008, pelo aluno Micael da Silva Bacellar do curso de Engenharia Elétrica e na segunda, de abril a julho de 2008, pelo aluno Caitano Luiz da Silva do curso de Física, ambos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.



Capítulo 2

Conceitos Gerais

2.1 A Atmosfera Terrestre

A atmosfera terrestre é um gás de baixa densidade composto quase que exclusivamente por nitrogênio e oxigênio moleculares. Apesar disso, existem inúmeros outros gases na atmosfera, porém constituem fração inferior a 1%, como exemplo temos o dióxido de carbono, vapor d'água e inúmeros gases traço. Em condições normais de temperatura e pressão, a densidade da atmosfera, ao nível do mar, é da ordem de 1 kg/m^3 , este é um valor razoavelmente alto se comparado com os valores de densidade média para maiores altitudes, pois 99.9% da massa da atmosfera se localiza até 50 km de altitude (*Hargreaves*, 1992, p. 3).

A análise da complicada estrutura vertical da atmosfera pode ser facilitada através da divisão da mesma em camadas. Na literatura temos diversas divisões propostas, estas divisões estão ilustradas na figura 2.1. Tais divisões tem por base os aspectos físicos e químicos que caracterizam a atmosfera, isto é, divisão segundo o perfil de temperatura, composição, escape gasoso e perfil de densidade eletrônica ou estado de ionização. Note que os dois últimos são equivalentes, pois na ionização de um átomo ocorre a liberação de pelo menos um elétron.

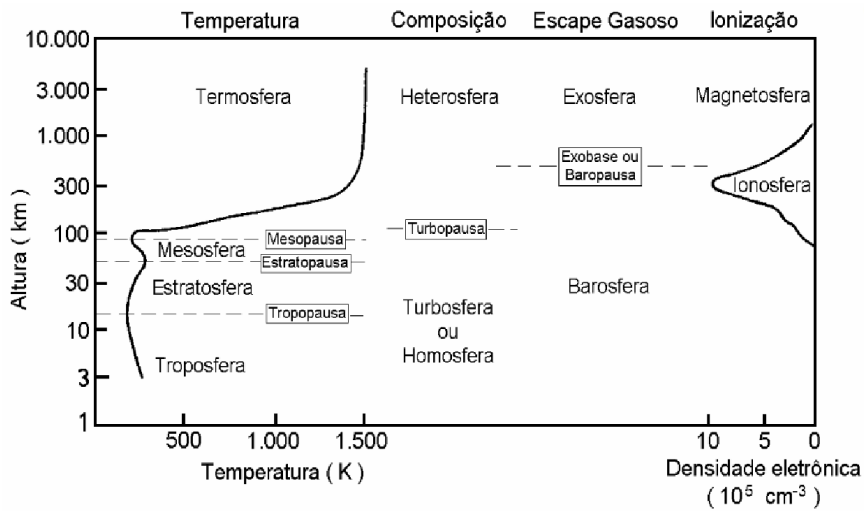


Figura 2.1: Camadas da atmosfera.

Fonte: adaptado de *Hargreaves*, 1992, p. 99.

2.1.1 Divisão da atmosfera segundo o perfil de temperatura

A divisão mais utilizada é a que diz respeito ao gradiente de temperatura. Nesta divisão uma determinada camada se estende enquanto não há uma inversão no gradiente de temperatura e as interfaces entre camadas são, portanto, os extremos do perfil, como pode ser visto na figura 2.2. Na figura 2.2 vemos as quatro camadas **troposfera**, **estratosfera**, **mesosfera** e **termosfera**. Cada camada recebe o sufixo “sfera”, pois em um modelo bem prático considera-se as camadas atmosféricas como esferas concêntricas, já as interfaces são nomeadas com o nome da camada adjacente seguida do sufixo “pausa” e são caracterizadas por valores nulos para o gradiente de temperatura.

A **troposfera** é a camada inferior, nela a temperatura decresce com a altitude a uma taxa de aproximadamente 7K/km, partindo de uma temperatura superficial de cerca de 290 K e reduzindo até cerca de 220 K na base da estratosfera (*Wrasse*, 2000, p.18). A troposfera estende-se até a tropopausa,

a uma altitude de cerca de 15 a 18 km no equador e 6 a 8 km nos pólos, sendo que este valor varia ainda sazonalmente (*Bertagnolli*, 2008, p. 58).

A troposfera é de extrema relevância do ponto de vista meteorológico, pois é nela que ocorre fenômenos como a precipitação, grande parte das nuvens e relâmpagos. Nesta camada existe tanto transporte radiativo quanto convectivo de energia, sendo que esta representa 80 % da massa total da atmosfera.

A **estratosfera** inicia na tropopausa e estende-se até cerca de 50 km, nesta região a temperatura aumenta com a altitude devido, principalmente, a absorção de radiação ultravioleta pela molécula de ozônio e pelo vapor d'água. É na estratosfera que encontra-se o pico de concentração de ozônio atmosférico, e portanto, é onde localiza-se a camada de ozônio (*Bertagnolli*, 2008, p. 59). No topo da estratosfera tem-se a estratopausa, onde situa-se um máximo local no perfil de temperatura, com valores da ordem de 270 K.

Na região seguinte, a **mesosfera** a temperatura volta a decrescer com a altitude. Esta camada está situada entre 50 e 90 km, aproximadamente, e é limitada superiormente pela mesopausa, onde ocorre outra inflexão no perfil de temperatura. A mesopausa é caracterizada pelo mínimo global de temperatura, da ordem de 190 K (*Wrasse*, 2000, p. 19).

No topo da atmosfera, tem-se a **termosfera**. Nesta camada a temperatura cresce indefinidamente com a altitude até um valor assintótico, chamado temperatura exosférica (*Kirchhoff*, 1991, p. 27). O perfil de temperatura tem esta forma nesta região devido a absorção de fótons altamente energéticos por átomos de nitrogênio e oxigênio. É interessante frisar que as medidas de temperatura nesta região são complicadas, pois apesar das partículas terem altas velocidades, o meio é pouco denso e as colisões entre as partículas são raras, ocorrendo portanto, pouca transferência de energia¹ (*Grimm*, 1999).

¹A temperatura pode ser definida em termos das velocidades médias das partículas constituintes de um gás.

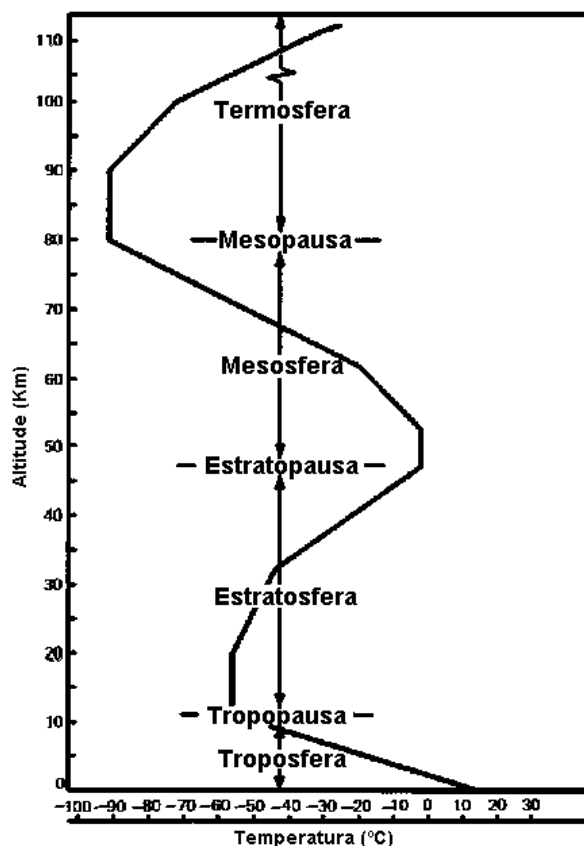


Figura 2.2: Classificação da atmosfera segundo o perfil de temperatura.

Fonte: adaptado de

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>.

2.1.2 Divisão da atmosfera segundo a composição química

Segundo a composição química pode dividir-se a atmosfera em duas camadas, a **homosfera** e a **heterosfera**.

A camada inferior é a **homosfera** ou turbosfera. Na homosfera a razão de mistura dos componentes praticamente não varia com a altitude, sendo que os constituintes majoritários são nitrogênio (78%) e oxigênio (21%) moleculares². Esta região estende-se até cerca de 100 km e é limitada superiormente

²Valores em proporção volumétrica.

pela turbopausa, como pode ser visto na figura 2.1. Na homosfera há um predomínio de difusão turbulenta (*Kirchhoff*, 1991, p. 31).

Já na **heterosfera** (região superior a 100 km) cada gás possui sua própria escala de altura e o nitrogênio e o oxigênio moleculares deixam de ser os constituintes majoritários. Pode-se subdividir a heterosfera em duas camadas, a **protonosfera** onde há o predomínio de oxigênio e a **heliosfera** onde o hélio é o elemento mais abundante (*Hargreaves*, 1992, p. 100).

2.1.3 Divisão da atmosfera segundo o escape gasoso

Segundo o escape gasoso podemos dividir a atmosfera em duas camadas, a superior onde ocorre uma constante perda de partículas para o espaço (devido a fraca atração gravitacional) é a **exosfera**. A região inferior, onde isto não ocorre, é a **barosfera**. Estas regiões são separadas pela baropausa que situa-se em torno de 600 km de altitude.

2.1.4 Divisão da atmosfera segundo o perfil de densidade eletrônica

De acordo com o perfil de densidade eletrônica, a atmosfera terrestre pode ser dividida em **atmosfera neutra**, **ionosfera** e **magnetosfera** (*São Sabbas*, 1999, p. 28).

A região inferior é chamada **atmosfera neutra** e estende-se até cerca de 60 km. Nesta região praticamente não chegam fótons suficientemente energéticos para ionizar os átomos e moléculas da atmosfera, pois estes são absorvidos nas camadas adjacentes.

A **ionosfera** é a camada onde ocorre a ionização parcial dos constituintes atmosféricos, embora as partículas carregadas sejam minoria perante as neutras, estas partículas com carga influenciam fortemente a dinâmica da atmosfera superior. A principal fonte de ionização é a radiação solar altamente energética, na faixa do extremo ultravioleta e dos raios X. Outra

fonte de ionização importante são os raios cósmicos, bem como a ionização por colisão entre partículas da própria atmosfera. Qualitativamente, é fácil compreender a existência de um pico de densidade eletrônica na atmosfera (como pode ser visto na figura 2.3), pois nas regiões inferiores poucos fótons energéticos chegam e nas regiões superiores a concentração de partículas é baixa, portanto, o produto da densidade pelo número de fótons ionizantes é máximo numa altura intermediária (*Kirchhoff*, 1991, p. 76).

A ionosfera localiza-se entre 60 e 500 km aproximadamente e é subdividida em camadas, estas divisões levam em consideração os picos secundários do perfil de densidade eletrônica. As subdivisões são **D**, **E**, **F1**, **F2** e **F3**, estas podem ser vistas na figura 2.3.

- A região inferior da ionosfera é a região **D**. Esta região não possui um pico propriamente dito, porém é a porção mais complexa da ionosfera (do ponto de vista químico). Isto ocorre devido a alta pressão em relação as camadas superiores e a existência de inúmeras fontes de ionização diferentes (*Hargreaves*, 1991, p. 229). A região D situa-se aproximadamente entre 60 e 90 km e praticamente desaparece a noite.
- A segunda região é a de maior condutividade. A região **E** situa-se entre 90 e 150 km. A principal fonte de íons é a absorção da parte mais penetrante do espectro eletromagnético pelo oxigênio molecular, isto é, radiação do extremo ultravioleta na faixa entre 800 e 1027 Å. Esta região também praticamente desaparece a noite.
- A região adjacente é a **F1**, esta contém um pequeno pico esporádico em torno de 180 km. A região F1 absorve a maior faixa do espectro eletromagnético, entre 200 e 900 Å (*Hargreaves*, 1991, p. 225). Esta região, analogamente a E e D, também dissipa-se a noite.
- A região que contém o máximo absoluto é a região **F2**, esta região engloba também toda a parte superior da ionosfera. Nesta região a dinâmica das partículas carregadas é fortemente influenciada pelos ventos termosféricos e pelo campo magnético terrestre (*Kirchhoff*, 1991, p.

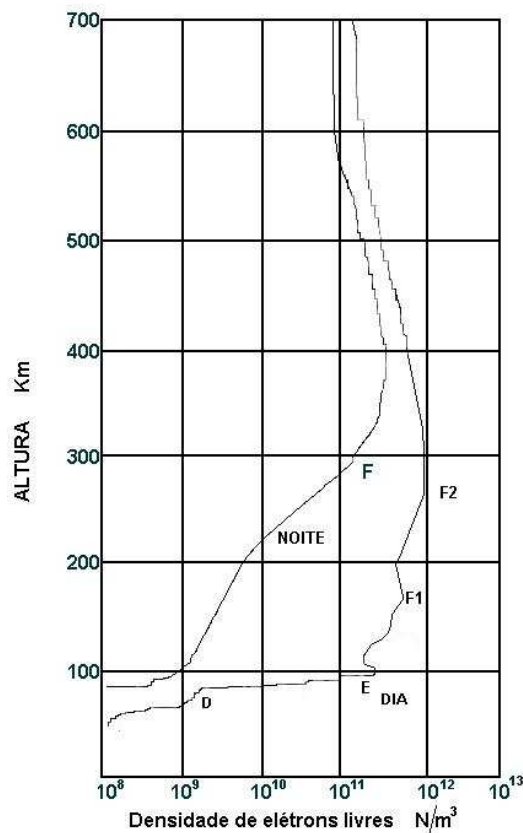


Figura 2.3: Perfil de densidade eletrônica definindo as regiões ionosféricas.

Fonte: adaptado de <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/IonosphereElectronicDistribution.JPG>>.

91).

- A região **F3** pode formar-se em torno de 450 e 600 km de altitude, para regiões próximas ao Equador (*Wrasse*, 2000, p. 21).

Acima da ionosfera está localizada a **magnetosfera**. Nesta região o movimento das partículas carregadas é totalmente governado pelo campo geomagnético. A forma da magnetosfera, como mostrada na figura 2.4, é obtida da superposição do campo magnético exclusivamente terrestre (semelhante ao de um dipolo) com a ação dos ventos solares.

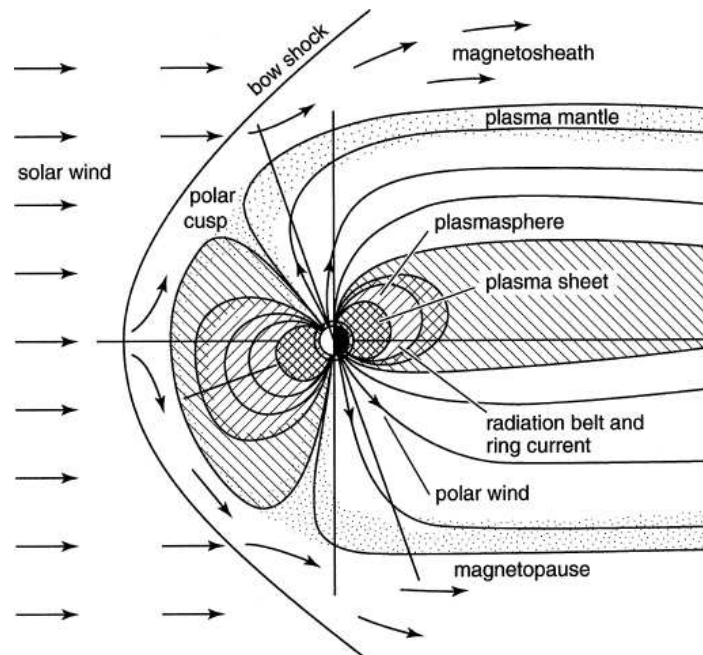


Figura 2.4: Magnetosfera terrestre.

Fonte: *Rycroft et al.*, 2000.

Na figura 2.4 pode-se visualizar o vento solar (*solar wind*³) incidindo na camada de choque (*bow shock*), logo após esta há a camada de revestimento (*magnetosheath*) que é a zona de transição entre a onda de choque produzida pelo vento solar e a magnetosfera. Na figura pode-se ver também o vértice polar (*polar cusp*), região onde ocorre a penetração direta de partículas carregadas. A região interna da magnetosfera é a plasmasfera (*plasmasphere*), esta é a região onde as linhas de campo são fechadas. Nesta região de linhas de campo fechadas ocorrem também os cinturões de radiação Van Allen e a corrente de anel (*radiation belt and ring current*), já na região de linhas abertas ocorre o chamado vento polar (*polar wind*).

A magnetosfera é delimitada superiormente pela magnetopausa, (*magnetopause*). O principal movimento de grande escala da magnetosfera é a convecção originada dos ventos solares, produzindo uma reconecção das li-

³O nome entre parênteses refere-se ao nome original em inglês, que está de acordo com o apresentado na figura 2.4.



nhas de campo na região da cauda magnetosférica, a região interior as linhas fechadas é uma camada neutra (*Kirchhoff*, 1991, p. 116).



2.2 O circuito elétrico atmosférico global

Em um modelo bem simplificado, inspirado nas hipóteses de *C. T. R. Wilson* (por volta de 1920), pode-se representar o circuito elétrico atmosférico global (CEAG) como um capacitor esférico com uma casca concêntrica a uma esfera condutora, cuja seção transversal pode ser vista na figura 2.5. No interior tem-se a Terra como uma esfera negativamente carregada e a casca externa, positivamente carregada, é a ionosfera. Nesta analogia, o meio dielétrico, que preenche o espaço entre as “placas” do capacitor, é a atmosfera neutra. A atmosfera, abaixo da ionosfera, possui condutividade baixíssima, da ordem de 10^{-14} mho/m, próximo ao nível do mar. Após o limite da atmosfera neutra, cerca de 60 km, a condutividade aumenta exponencialmente com a altitude (*Rycroft et al.*, 2000).

A peculiaridade desse sistema consiste no fato que o carregamento da atmosfera superior em relação a Terra é mantido pelas tempestades. As milhares de tempestades que ocorrem a todo momento ao longo do planeta podem ser consideradas como fontes pontuais de corrente (*São Sabbas*, 1999, p. 33).

O CEAG apresenta, em condições meteorológicas razoáveis, um campo elétrico vertical bem definido, chamado campo elétrico de tempo bom (*fair weather*). O campo elétrico de tempo bom é da ordem de 120 V/m na superfície (*Harrison*, 2004). Este campo possui uma variação diurna característica, que foi primeiramente identificada através de medidas a bordo do navio Carnegie (*Pinto Jr. e Pinto*, 2000, p. 30). A curva apresentada na figura 2.6, que representa a variação diurna do campo elétrico atmosférico, recebe o nome de **curva de Carnegie**.

A produção de íons na atmosfera superior ocorre devido a uma série de processos, dos quais se destacam a ionização devido a incidência de radiação solar altamente energética e devido aos raios cósmicos. Junto com a variação da concentração de íons na atmosfera superior, varia também a condutividade do meio. A condutividade elétrica sofre, além da trivial variação dia/noite, variações devido à latitude e à atividade solar. Todas estas vari-

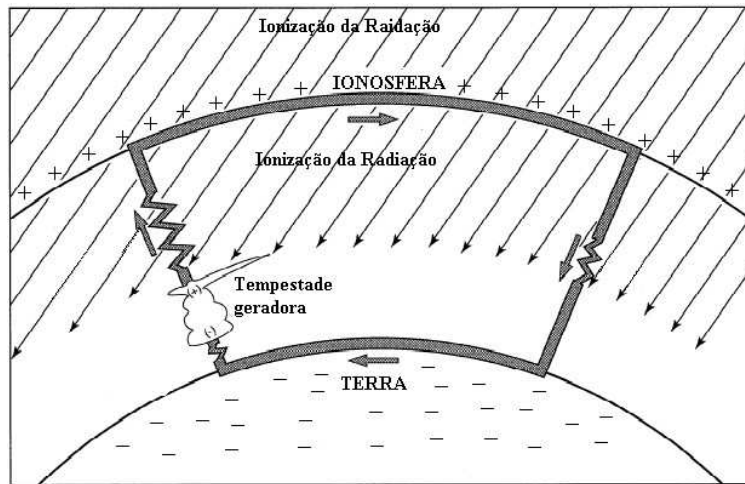


Figura 2.5: Visão simplificada do circuito elétrico atmosférico global.
 Fonte: adaptado de *Rycroft et al.*, 2000.

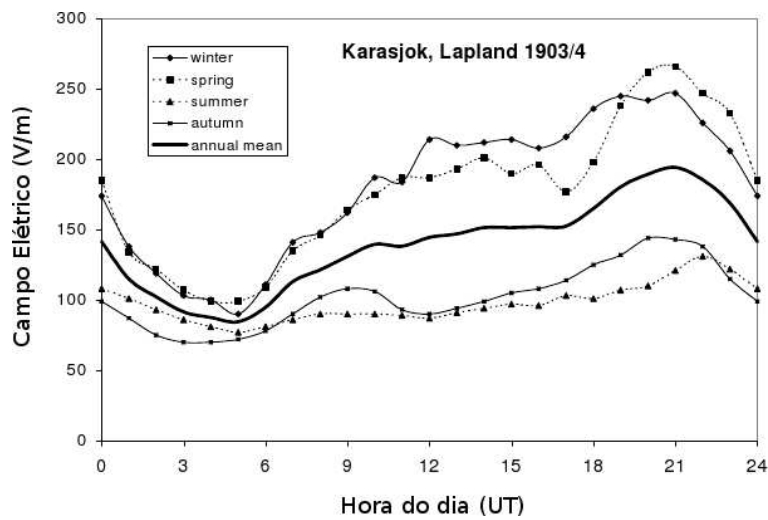


Figura 2.6: Curva de Carnegie. Valores médios para o inverno (*winter*), primavera (*spring*), verão (*summer*), outono (*autumn*) e média anual (*annual mean*).

Fonte: adaptado de *Harrison*, 2004.

ações afetam o campo elétrico atmosférico, porém espera-se que estes fatores não alterem o valor médio do campo elétrico de um dia para outro. Portanto, em condições de tempo bom e ar não poluído por aerossóis, variações diárias do campo elétrico devem estar associadas as correntes produzidas por tempestades (*Harrison, 2004*).

2.2.1 Tempestades como fonte eletromotriz do CEAG

A corrente elétrica oriunda das tempestades é chamada de corrente de Wilson e se espalha por todo o planeta através das linhas do campo geomagnético e da corrente atmosférica de tempo bom, compondo o CEAG (*Tavares e Santiago, 2002*).

As tempestades são produzidas por uma ou mais **nuvens cumulonimbus**. Uma nuvem cumulonimbus possui entre 10 e 20 km de diâmetro e verticalmente pode alcançar até a tropopausa, durando em média de 30 a 90 minutos. As nuvens de tempestade são caracterizadas pela grande extensão vertical e por conterem cargas elétricas geradas por fortes correntes de ar ascendentes e descendentes em seu interior.

As nuvens cumulonimbus podem se agrupar formando sistemas meteorológicos. As tempestades elétricas sobre as quais a maioria dos *sprites* são observados são Sistemas Convectivos de Mesoescala ⁴. Eles são formados por aglomerados de nuvens com forte atividade convectiva, dimensões entre 250 e 2500 km e duração superior a 6 horas. MCSs são comuns no oceano e em regiões continentais próximas aos trópicos (*São Sabbas e Sentman, 2003, parágrafo 4*)

O processo de eletrificação das nuvens não é totalmente conhecido. Existem dois grupos de modelos, os do tipo indutivo, que apoiam-se na hipótese que o campo elétrico atmosférico é fator determinante na eletrificação das nuvens e, os do tipo não-indutivo, que não assumem esta hipótese (*São Sabbas, 1999, p. 30*).

⁴ *Mesoscale Convective System* – MCS.

No **processo indutivo** o campo elétrico polariza as partículas maiores no interior da nuvem e essas partículas, em queda no campo gravitacional, colidem com partículas menores (geralmente cristais de gelo) eletrizando-as. Assim forma-se um centro de cargas positivas no topo da nuvem e um centro de cargas negativas na base da nuvem. Existem algumas variações desse modelo, como o modelo de Simpson (*Simpson's Breaking-Drop Theory*), que prega uma estrutura tripolar para as nuvens.

No **processo termoelétrico** (não-indutivo) o fator determinante não é o campo elétrico, mas sim uma grandeza chamada temperatura de inversão, estimada em -15°C . Se uma colisão ocorre em uma região da nuvem onde a temperatura é superior a temperatura de inversão, a partícula mais massiva fica positivamente carregada, enquanto a menos massiva fica com carga negativa. A principal característica desse modelo é que os centros de carga se distribuem ao longo das superfícies isotérmicas (*Bourscheidt, 2005, p. 28*).

O modelo mais simples para descrever uma nuvem de tempestade isolada foi proposto por volta de 1920 e é construído considerando-se uma estrutura dipolar para a nuvem. Neste modelo a nuvem é semelhante a um dipolo elétrico com o centro de cargas positivas na parte superior e o centro de cargas negativas na parte inferior. Posteriormente, por volta da década de 30, uma estrutura tripolar foi sugerida. Por volta de 1940, camadas de blindagem foram adicionadas ao modelo, estas camadas são finas e formadas pelo aprisionamento de íons da atmosfera. O centro de cargas no interior da nuvem atrai cargas de polaridade oposta para as bordas da nuvem. Essas camadas blindam a região externa das nuvens do campo em seu interior. Posteriormente, em meados da década de 70, foram encontradas evidências de que, ao contrário das cargas positivas que situavam-se distribuídas no topo da nuvem, as cargas negativas distribuam-se em uma estreita faixa, onde a temperatura varia de -15 a 0°C , independentemente da altura com relação ao topo da nuvem. Observações realizadas nas últimas décadas indicam que a estrutura das nuvens é de fato multipolar (*Pinto Jr. e Pinto, 2000, p. 60*).

O campo elétrico no interior de uma nuvem de tempestade pode atingir valores da ordem de 400 kV/m , apesar de intenso não é esse campo que é

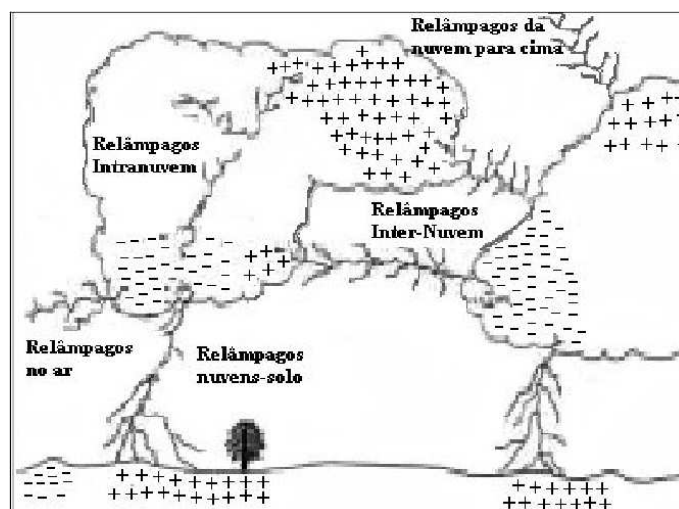


Figura 2.7: Tipos de relâmpagos.
 Fonte: adaptado de *Tavares e Santiago, 2002*.

responsável pela quebra da rigidez dielétrica dentro da nuvem. Esse campo elétrico apresenta bruscas variações associadas aos relâmpagos, seguido por uma variação bem lenta no final da tempestade (*Pinto Jr. e Pinto, 2000*, p. 68).

Associados a tempestades, ocorrem os relâmpagos⁵. Existe uma série de tipos de relâmpagos classificados de acordo com seu ponto de origem e término, como pode ser visto na figura 2.7. Os da nuvem para o solo são denominados **nuvem-solo** e os que fazem o sentido inverso são os **solo-nuvem**⁶. Já os que ocorrem no interior das nuvens são denominados **intranuvem** e os que ocorrem de uma nuvem para outra são chamados **entre-nuvens**. Os que ocorrem de uma nuvem para a atmosfera são denominados **nuvem-ar**, ou horizontais, enquanto os que partem da nuvem em direção a atmosfera superior, são chamados **nuvem-ionosfera**, ou verticais (*São Sabbas, 1999*, p. 32). Os relâmpagos são classificados ainda entre positivos e negativos, dependendo da polaridade da carga transportada.

⁵Os relâmpagos não estão associados somente à nuvens cumulonimbus, mas também à nuvens cumulus congestus, stratocumulus, altostratus e nimbostratus (*Bourscheidt, 2005*, p. 24).

⁶Relâmpagos que atingem o solo são popularmente conhecidos como raios.



Estes relâmpagos duram em média frações de segundo e produzem correntes elétricas de alta intensidade (da ordem de dezenas de kA). Esta corrente flui em um estreito canal elevando a temperatura e a pressão nas vizinhanças a valores exorbitantes. A luminosidade característica do relâmpago é provocada pela ionização dos constituintes atmosféricos ao longo do percurso da descarga elétrica e o som característico (conhecido popularmente como trovão) é provocado pela onda de pressão criada na descarga (*Pinto Jr. e Pinto, 2000, p. 12*).



Capítulo 3

Eventos Luminosos Transientes

Os eventos luminosos transientes – **TLEs**, do inglês *Transient Luminous Events*, são um conjunto de fenômenos que ocorrem na média e alta atmosfera e estão associados a grandes tempestades com alta atividade elétrica. Esses eventos são emissões luminosas em geral associadas a campos elétricos produzidos por relâmpagos. A figura 3.1 mostra uma representação da estrutura física de alguns TLEs.

No final da década de 80 foram visualizadas as primeiras destas emissões ópticas na média e alta atmosfera. Desde então a comunidade científica vem realizando campanhas para observação desses fenômenos. Essas campanhas revelaram a existência de diversas manifestações diferentes de TLEs, dentre os quais se destacam: os **sprites**, os **halos**, os **blue jets** e os **elves**. Desses fenômenos os *sprites* são os de mais fácil observação, e portanto, são os que possuem mais informações apresentadas na literatura.

Os TLEs consistem em um conjunto de evidências observáveis do intenso acoplamento entre as tempestades troposféricas e as camadas superiores, isto é, mesosfera, baixa ionosfera e os cinturões de radiação (*Inan, 2002*).

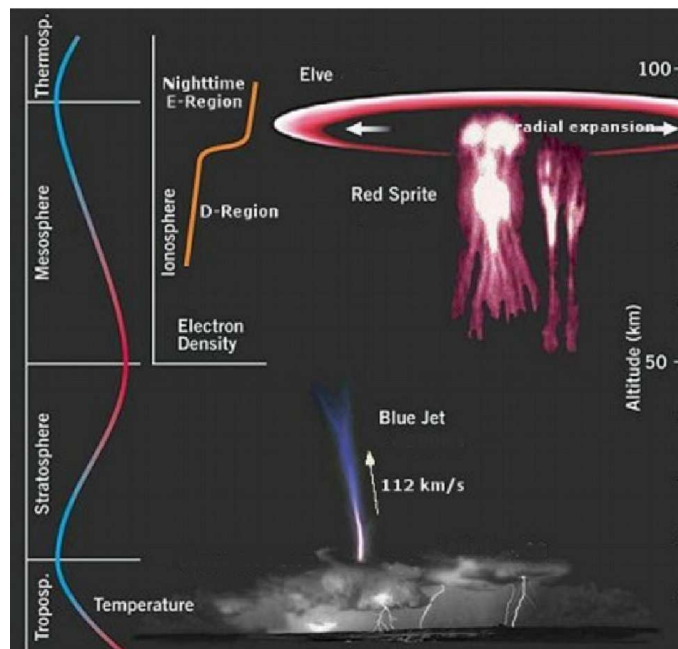


Figura 3.1: Representação artística dos principais TLEs.

Fonte: adaptado de

<http://www.ubthenews.com/images/ionosphere_fig2.jpg>.

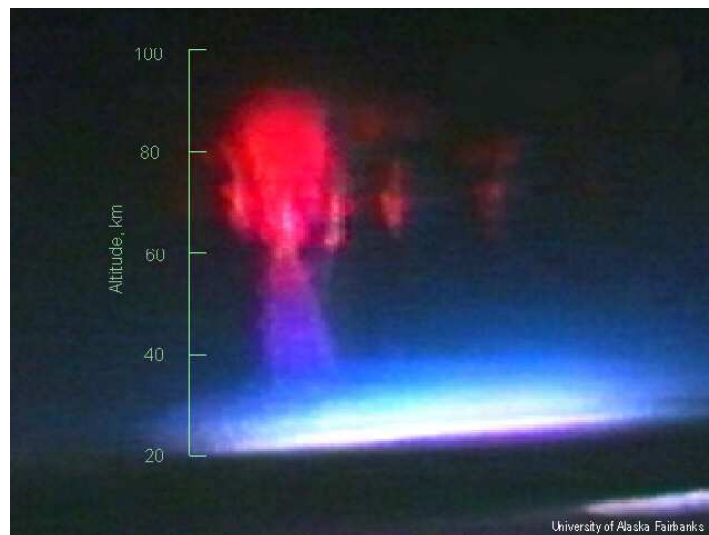


Figura 3.2: Primeira imagem colorida de um sprite, 4 de julho de 1994 (obtida na campanha “*Sprites94*”).

Fonte: adaptado de *Sentman et al.*, 1995.

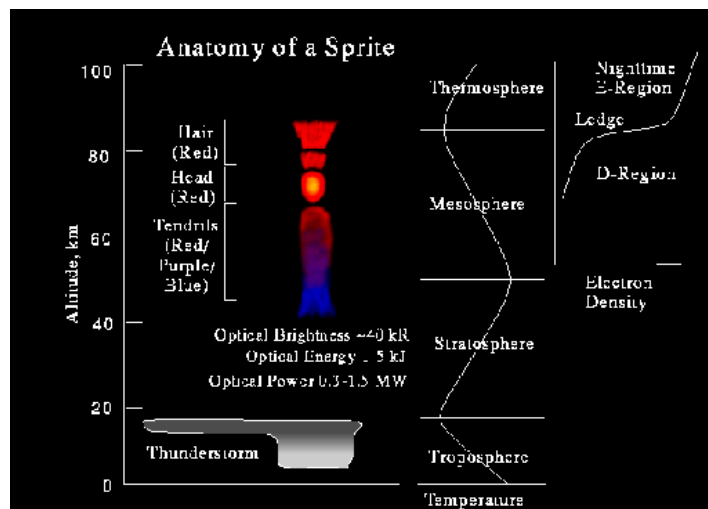


Figura 3.3: Anatomia de um sprite.

Fonte: adaptado de

<<http://www.gi.alaska.edu/~heavner/rs/redsprites.html>>.

3.1 Sprites

Os *sprites* são a componente óptica de emissões que ocorrem entre ~30 km e ~100 km de altitude devido a descargas elétricas oriundas de tempestades com alta atividade elétrica. Geralmente os *sprites* estão associados a relâmpagos nuvem-solo positivos¹. Observações mostram que cerca 85% dos *sprites* ocorre após um relâmpago nuvem-solo positivo, dentro de um intervalo de aproximadamente 20-30 ms (*Boccippio et al.*, 1995).

Os *sprites* são também chamados *red sprites* devido sua coloração. O nome *sprite* foi adotado após a campanha "*Sprites94*" (ver figura 3.2), a palavra *sprite*, numa tradução literal do inglês, significa duende. Esse nome foi escolhido porque não carrega nenhuma conotação científica, evitando a indução a alguma conclusão errada acerca do fenômeno. Uma curiosidade sobre este nome é que ele foi inspirado na peça "A Tempestade" de William Shakespeare (*São Sabbas*, 1999, p. 41).

¹Relâmpagos que partem da nuvem em direção ao solo transportando carga positiva (*Pinto Jr. e Pinto*, 2000, p. 78).

Na figura 3.3 pode-se visualizar uma representação da morfologia de um *sprite*. No centro tem-se a região mais brilhante denominada “cabeça” (*hair*), situada normalmente a cerca de 70 km de altitude. No topo tem-se uma região de finas estrias denominada “cabeleira” (*hair*), a qual se estende do topo da cabeça até cerca de 88 km. A separação entre estas duas partes aparece como uma espécie de fenda com ausência de emissão, esta região é chamada de “linha calva” (*hair line*). Em alguns dos mais brilhantes *sprites* foi visualizada uma banda escura, denominada “colar” (*collar*), logo abaixo da cabeça, como pode ser visto na figura 3.3 a cerca de 66 km. O colar separa a cabeça da região dos “tentáculos” (*tendrils*). Estes tentáculos são um conjunto de filamentos verticais que logo abaixo da cabeça são de coloração avermelhada e na ponta inferior (cerca de 40 km) possuem coloração azul. É importante frisar que este fenômeno ocorre a altitudes bem maiores do que a tempestade, na figura 3.3 pode-se ver que a tempestade estende-se aproximadamente até a região da tropopausa, enquanto a cabeça do *sprite* está na mesosfera, em torno de 75 km (*Sentman et al.*, 1995).

3.2 Halos

Observações mostraram que frequentemente os *sprites* são precedidos ou acompanhados por um halo² de luz difuso a uma altitude entre 70 e 80 km (*Tavares e Santiago*, 2002), este pode ser visto também na figura 3.1.

Apesar de geralmente estarem associados a *sprites*, os halos podem ocorrer independentemente desses. Um ponto em comum entre esses dois fenômenos é o processo de formação, modelos indicam que um mecanismo de emissão óptica do nitrogênio molecular excitado está envolvido na produção de ambos, halos e *sprites*. Estes modelos indicam que um campo quasi-eletrostático (QE) é responsável pelo aquecimento, ionização e emissão que gera *sprites* e halos. Este campo QE é criado pelas variações de carga elétrica dentro da nuvem associada com os relâmpagos nuvem-solo positivos (*Wescott et al.*, 2001).

²Também chamado *sprite-halo*.

3.3 Blue Jets, gigantic jets e blue starters

Os *blue jets* ou “jatos azuis” (ver figura 3.1) foram descobertos na campanha “*Sprites94*” e são fenômenos intrinsecamente diferentes dos *sprites*. Suas diferenças estão na: geração, forma, coloração, escala de altura, etc. Os jatos azuis são estreitos feixes de luz, de coloração azulada e que partem do topo das nuvens de tempestades se dirigindo para cima, a figura 3.4 traz uma imagem de um jato azul. O cone de luz formado por estes jatos tem amplitude média de 15° e se propaga com velocidade média da ordem de 100 km/h (Wescott *et al.*, 1998). O tempo de vida deste fenômeno é da ordem de um décimo de segundo.

Não há tantas informações sobre os jatos azuis na literatura, quanto há para *sprites*. As principais dificuldades encontradas na descrição do fenômeno consistem em explicar a colimação do feixe e a longa duração do fenômeno (Wescott *et al.*, 1995). O mecanismo de geração dos jatos ainda não foi identificado também.

As emissões normalmente não ultrapassam 40 km de altitude, porém já foram observado fenômenos que alcançaram 70 km de altitude, como pode ser visto na figura 3.5. Esses últimos devido sua natureza incomum foram denominados *gigantic jets* ou “jatos gigantes” (Pasko *et al.*, 2002). Os jatos gigantes, bem como os usuais jatos azuis, não possuem nenhuma associação com os relâmpagos nuvem solo positivos.

Os *blue starters* ou “precursores azuis” são também fenômenos semelhantes aos jatos azuis, porém diferem destes com relação a sua escala de altura. Um precursor atinge no máximo 25 km de altitude. Há uma possível correlação entre os relâmpagos nuvem-solo negativos e os precursores, como mostrado por Wescott *et al.* (1996). Na figura 3.6 pode-se ver que a forma da distribuição indica que há uma forte relação estatística entre estes eventos.



Figura 3.4: Foto de um *blue jet*.

Fonte: <<http://www-tc.pbs.org/wgbh/nova/sciencenow/3214/images/02-vari-bluejet.jpg?Log=0>>.

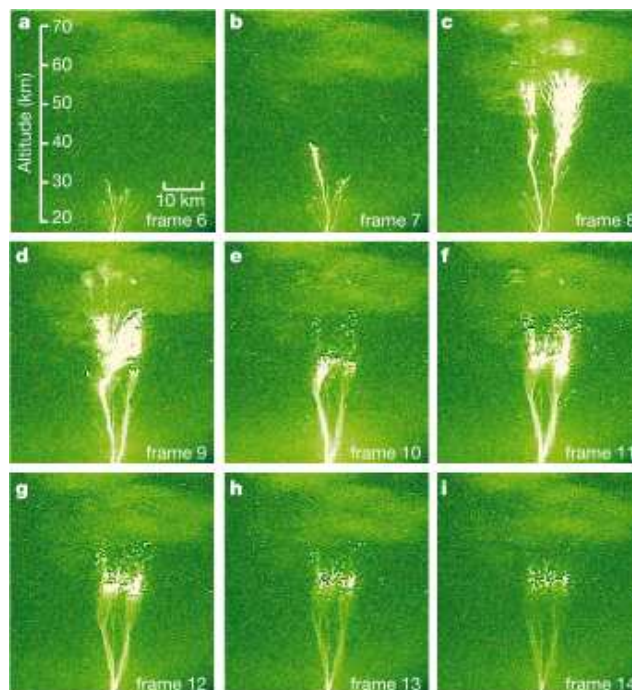


Figura 3.5: Os painéis **a** a **i** correspondem a evolução temporal de um fenômeno semelhante a um *blue jet* que foi classificado como *gigantic jet*. A coloração das imagens é artificial.

Fonte: *Pasko et al*, 2002.

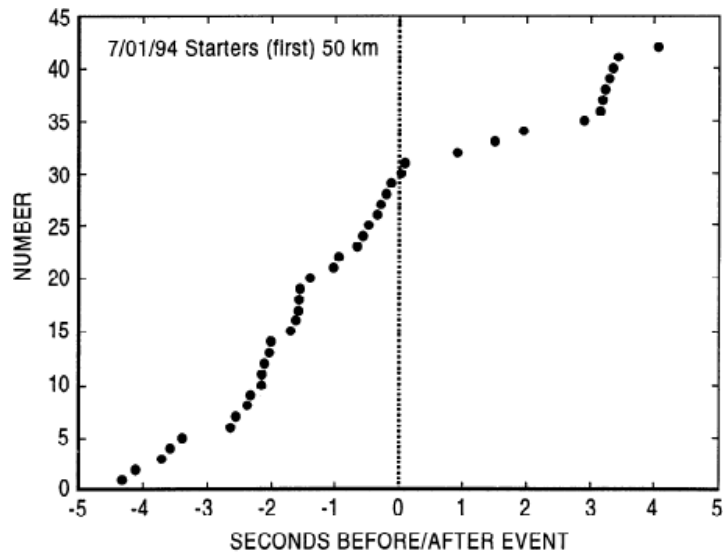


Figura 3.6: Distribuição temporal de relâmpagos nuvem-solo negativos em um raio de aproximadamente 50 km para 18 eventos de precursores azuis.

Fonte: *Wescott et al*, 1996.

3.4 Elves

A palavra elves é um acrônimo da expressão em inglês: “*Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations from Electromagnetic Pulse Sources*”. Os elves foram descobertos por volta de 1990 e possuem coloração semelhante à dos *sprites*, porém diferem destes na forma, os *sprites* possuem uma estrutura vertical bem desenvolvida, enquanto os elves podem ser considerados fenômenos horizontais. De acordo com o que está apresentado na figura 3.1, pode-se ver um elve como um disco em expansão, a uma altura semelhante a do topo do *sprite*, isto é, na altura da região E ionosférica (cerca de 90 km de altitude).

Os elves são caracterizados por atingir extensões horizontais de até 600 km. A figura 3.7 mostra uma fotografia de um elve obtida sobre a Europa, o avião observava a chuva de meteoros Leonidas no final de 1999. Devido a grande intensidade luminosa dos elves (da ordem de 1 a 10 MR) estima-se que a ionosfera é aquecida via efeito Joule causado pelos pulsos eletromagnéticos



Figura 3.7: Fotografia de um elve obtida sobre a Europa por intermédio de aviões. Esta imagem foi capturada por *M. J. Taylor e L. C. Gardner* da Universidade do Estado de Utah em 18 de novembro de 1999, durante uma chuva de meteoros.

Fonte: <<http://www-star.stanford.edu/~vlf/publications/theses/cpbl-Thesis/img357.png>>.

(EMP) gerados por relâmpagos (*Inan, 2002*).

Os elves ocorrem geralmente associados a relâmpagos nuvem-solo positivos e negativos. Os *sprites* tem associados a si uma espécie de *halo*, a principal diferença entre um halo e um elve está no processo de formação, um halo está vinculado a campos elétricos quasi-estáticos (QE), enquanto um elve está associado aos EMPs. A correntes elétricas mais rápidas estão associados EMPs, e conseqüentemente elves, enquanto a correntes elétricas mais lentas estão associados QEs, e por conseguinte halos (*Inan, 2002*).

3.5 Campanhas de observação de *sprites* no Brasil

Já foram realizadas quatro campanhas em solo nacional para observação de *sprites*. A **primeira** delas foi realizada no verão de 2002-2003 no estado de São Paulo, centralizada no INPE em Cachoeira Paulista. O objetivo dessa campanha foi realizar medidas de campos elétricos de relâmpago “in-situ” com instrumentação a bordo de balões estratosféricos, simultaneamente com observações de *sprites* com equipamentos no solo e a bordo de um avião. As primeiras imagens de *sprites* no Brasil foram obtidas nesta campanha coordenada pelo Dr. Osmar Pinto Jr. do ELAT³. Medidas de campos elétricos também foram obtidas a bordo dos balões, entretanto os dados foram coletados em dias diversos. Essa campanha pioneira foi o resultado de uma colaboração com a *University of Washington* – UW, da *Utah State University* – USU e da *University of Alaska Fairbanks* – UAF, com o apoio do projeto ETAS da FAPESP e do projeto americano da NSF (*National Science Foundation*). A figura 3.8 mostra em (a) imagens dos primeiros *sprites* observados no Brasil obtidas em Cachoeira Paulista, com equipamento da USU.

A **segunda** campanha foi realizada na primavera de 2005 com o objetivo de observar a influência das ondas de gravidade na geração de *sprites* na região Centro-Oeste do país e na geração de bolhas de plasma na região equatorial. Esta campanha contou com a colaboração de diversos pesquisadores do INPE, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, da Universidade de Brasília – UnB e de algumas instituições de pesquisa americanas, entre as quais a USU, a *Duke University*, a *Purdue University* e a *Colorado Research Associates* – CoRA. A campanha foi coordenada pela Dr^a. Fernanda de São Sabbas Tavares, da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT, com o suporte do projeto DEELUMINOS da FAPESP e projetos americanos da NSF e da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). A figura 3.8 mostra no item (b) imagens obtidas durante esta segunda campanha no local de observação na fazenda Isabel em Goiás.

³Grupo de Eletricidade Atmosférica – ELAT/DGE/CEA/INPE – MCT.

(a) 1ª campanha: 2002-2003.



(b) 2ª campanha: 2005.



(c) 3ª campanha: 2006.



(d) 4ª campanha: 2007.



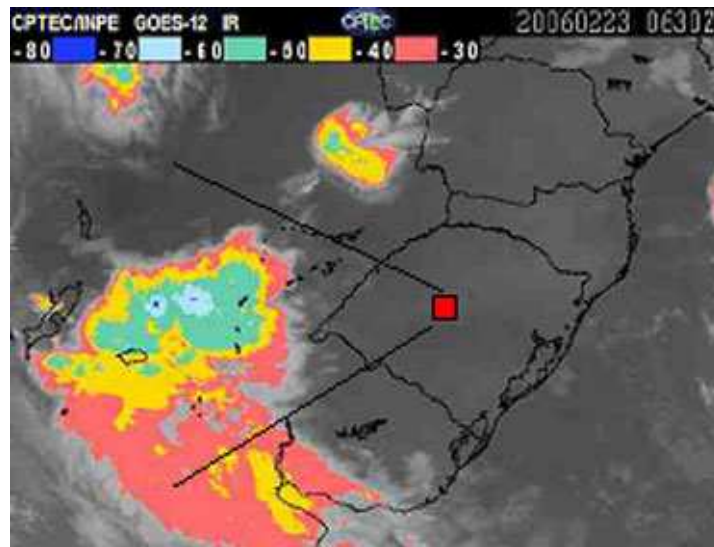
Figura 3.8: Imagens obtidas em campanhas em solo brasileiro.

Fonte: <<http://www.inpe.br/noticias/index.php>>.

A **terceira** campanha foi realizada no verão de 2006, no Rio Grande do Sul, centralizada no Observatório Espacial Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, situado no município de São Martinho da Serra. Nesta campanha foram observados mais de 400 *sprites* e outros TLEs numa única noite sobre uma tempestade na Argentina. A figura 3.9 mostra no item (a) uma imagem do satélite GOES, fornecida pelo CPTEC/INPE, da tempestade observada durante a terceira campanha, considerada a terceira mais ativa no mundo. Esta terceira campanha foi coordenada no Brasil pelo Dr. Osmar Pinto Jr.. No Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, foi coordenada pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, em parceria com o LACESM/CT – UFSM e com o apoio dos projetos ETAS e DEELUMINOS da FAPESP. Também contou com a participação das instituições americanas UW, USU, *Duke University* via projeto da NSF.

A **quarta** campanha ocorreu por volta de outubro de 2007. A campanha ocorreu também no OES, no Rio Grande do Sul. Esta campanha foi pioneira no sentido em que os equipamentos utilizados são pertencentes ao INPE. Uma imagem obtida nesta campanha pode ser vista no item (d) da figura 3.8. O ápice da campanha ocorreu na observação de uma grande tempestade, um Sistema Convectivo de Mesoescala (MCS) com um diâmetro aproximado de 600 km. A figura 3.9 mostra no item (b) uma imagem do satélite GOES fornecida pelo CPTEC/INPE da tempestade que se encontrava a menos de 150 km de distância do OES. A taxa de ocorrência de *sprites* durante a tempestade foi de aproximadamente 0.3 *sprite*/min. A campanha teve uma duração de 20 dias e apenas em um dia (09/10) as condições climáticas foram propícias para observação.

(a) 3ª campanha: 2006.



(b) 4ª campanha: 2007.

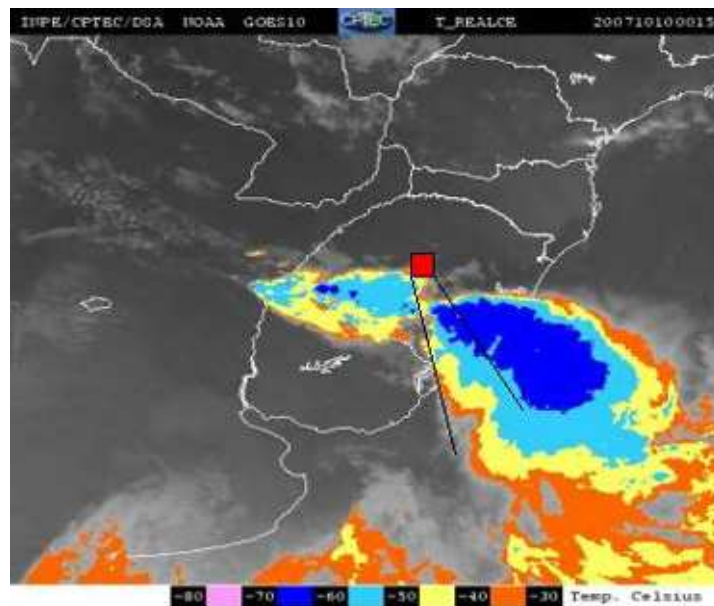


Figura 3.9: Imagens de tempestades observadas durante as campanhas em solo brasileiro.

Fonte: <<http://www.inpe.br/noticias/index.php>>.

Capítulo 4

Metodologia

O processo de obtenção de imagens de *sprites* pode ser dividido em dois momentos: **aquisição** e **digitalização**.

A aquisição das imagens de eventos é feita através de uma câmera CCD (*charge-coupled device*). Estes dispositivos podem estar localizados no solo, preferencialmente no alto de montanhas, ou pode estar a bordo de aviões e espaçonaves. O funcionamento dos sensores CCD baseia-se no efeito fotoelétrico, para cada fóton coletado um elétron é liberado e esta corrente é armazenada carregando toda a informação da imagem. Câmeras como essa foram utilizadas nas diversas campanhas de observação de *sprites*, em especial na quarta campanha em solo nacional, realizada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, durante o período de vigência da bolsa.

A digitalização, ou seja a conversão analógica/digital, constitui o processo de tradução da carga proveniente do sensor CCD num formato binário que é posteriormente reconhecido pelo computador.

As imagens são coletadas em fitas de vídeo e transferidas para o computador via um cabo *firewire*. O processo de digitalização das imagens é realizado com o auxílio de dois *softwares*: o **Adobe Premiere Pro 1.5** e o **Paint Shop Pro 7**.

O *Adobe Premiere Pro 1.5* é utilizado para trabalhar com os filmes. Além



realizar a aquisição das imagens, sua aplicação também inclui melhorias nas configurações da imagem (como alterar brilho e contraste) e a separação dos quadros capturados pela câmera.

O *Paint Shop Pro 7* é usado apenas para separar as linhas ímpares e pares da imagem, possibilitando melhor resolução temporal da imagem. Isso se faz necessário devido a câmera CCD utilizada na aquisição de dados capturar primeiramente as linhas ímpares e alguns mili-segundos depois as linhas pares, formando um quadro de imagem com campos de linhas capturadas com um intervalo de 16,7 ms.

Capítulo 5

Resultados

Durante o período de vigência da bolsa, dois alunos realizaram as atividades referentes ao projeto. Na primeira parte do período de vigência, de agosto de 2007 a março de 2008, o aluno Micael da Silva Bacellar do curso de Engenharia Elétrica e na segunda, de abril a julho de 2008, o aluno Caitano Luiz da Silva do curso de Física, ambos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

O primeiro bolsista participou da campanha de observação de *sprites* em outubro do ano passado, tendo ajudado na coleta de imagens. A campanha realizada no período de 3 a 22 de outubro no OES foi a primeira campanha totalmente brasileira de observação de *sprites*. Numa segunda etapa, visando o aprendizado de métodos de análise de dados, o bolsista trabalhou na digitalização das imagens adquiridas durante a observação do dia 09/10/2007. A digitalização das imagens tem como finalidade preparar os dados para obter a latitude e longitude dos eventos, e análise de suas características estruturais, utilizando-se outros *softwares*.

O segundo bolsista assumiu a partir da metade do mês de abril. Devido ao pouco tempo disponível, apenas tarefas de revisão bibliográfica foram realizadas. Um resumo sucinto dos conceitos estudados está apresentado nos capítulos 2 e 3 deste relatório. A bibliografia utilizada para a introdução ao assunto pode ser vista no capítulo 6.

Capítulo 6

Bibliografia

Bertagnolli, C. **Variabilidade temporal do conteúdo integrado de ozônio no sul do Brasil**. Santa Maria, 133 p. Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

Boccippio, K. J.; Williams, E. R.; Heckman, S. J.; Lyons, W. A.; Baker, I. T.; Boldi, R. Sprites, ELF transients, and positive ground strokes. **Science**, 269, 1088, 1995.

Bourscheidt, V. **Medidas de tempestades associadas à sprites no sul do Brasil**. Santa Maria: CRS/INPE, 2005. 110 p.

Grimm, A. M. **Meteorologia Básica - Notas de Aula**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Primeira versão: set 1999. Acesso em: 29 abr. 2008.

Hargreaves, J. K. **The solar-terrestrial environment**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 420 p.

Harrison, R.G. The global atmospheric electrical circuit and climate. **Surveys in Geophysics** 25, 2004, 441–484.



Inan, U. S. Lightning effects at high altitudes: sprites, elves and terrestrial gamma ray flashes. **C. R. Physique** 3 (2002) 1411-1421.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Introdução à geofísica espacial**. São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991. 141 p.

Pasko, P. P.; Stanley, M. A. Mathews, J. D.; Inan, U. S.; Wood, T. G. Electrical discharge from a thundertop to the cloud lower ionosphere. **Nature**, v. 416, p. 152, 14 mar. 2002.

Pinto Jr., O.; Pinto, I. R. C. de A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. Belo Horizonte, 2000, 193 p.

Rycroft, M. J.; Israelsson, S.; Price, C. The Global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial** 62, 2000, 1563 - 1576.

São Sabbas, F. T. **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.

São Sabbas, F. T.; Sentman, D. D. Dynamical relationship of infrared cloud-top temperatures with occurrence rates of cloud-to-ground lightning and sprites. **Geophys. Res. Lett.**, 30(5), 1236, 2003.

Sentman, D. D.; Wescott, E. M.; Osborne, D. L.; Hampton, D. L.; Heavner M. J. Preliminary results from the Sprites94 aircraft campaign: 1. Red Sprites. **Geophys. Res. Lett.**, v. 22, n. 10, p. 1205-1208, Maio 1995.

Tavares, M.; Santiago, M. A. M. Eletricidade atmosférica e fenômenos correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 24, n. 4, 2002.

Wescott, E. M.; Sentman, D. D.; Hampton, D. L.; Heavner, M. J. Blue starters: brief upward discharges from an intense Arkansas thunderstorm.



Geophys. Res. Lett., v. 23, n.16, p. 2153-2156. agos. 1996.

Wescott, E. M.; Sentman, D. D.; Heavner, M. J.; Hampton, D. L.; Vaughan, O. H. Jr. Blue Jets: their relationship to lightning and very large hailfall, and their physical mechanisms for their production. **J. Atmos. and Solar-Terr. Physics**, v. 60, p. 713-724, fev. 1998.

Wescott, E. M.; Sentman, D. D.; Osborne, D.; Hampton, D. L.; Heavner, M. J. Preliminary results from the Sprites 94 aircraft campaign: 2. Blue jets. **Geophys. Res. Lett.**, v. 22, n. 10, p. 1209-1212, maio 1995.

Wescott, E. M.; Stenbaek-Nielsen, H. C.; Sentman, D. D.; Heavner, M. J.; Moudry, D. R.; São Sabbas, F. T. Triangulation of sprites, associated halos and their possible relation to causative lightning and micrometeors. **J. Geophys. Res.**, 106(A6), 10,467-10,477, 2001.

Wrasse, C. M. **Observação da temperatura rotacional da hidroxila através da aeroluminescência na região da mesosfera terrestre**. 125 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.