

FACULDADES INTEGRADAS “ESPÍRITA”

BACHARELADO EM FÍSICA

ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD



**ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO E DAS DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO
ATLÂNTICO SUL**

Curitiba

2010

A obra ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO E DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL de LEITHOLD, A. A. ; Ângelo Antônio Leithold; Angeloleithold; py5aal foi licenciada com uma Licença Creative Commons - Atribuição - Uso Não-Comercial - Obras Derivadas Proibidas 3.0 Não Adaptada. Com base na obra disponível em sites.google.com.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD

**ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO E DAS DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO
ATLÂNTICO SUL**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção de aprovação no TCC grau do curso de Bacharelado em Física das Faculdades Integradas “Espírita”.

Orientador: Prof. MSc. Albary Laibida Junior

**Curitiba
2010**

FACULDADES INTEGRADAS “ESPÍRITA”

BACHARELADO EM FÍSICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD

**ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO E DAS DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO
ATLÂNTICO SUL**

Esta Monografia foi julgada e aprovada pelos membros da banca designada pelo coordenador do Curso de Graduação em Bacharelado em Física das Faculdades Integradas “Espírita”, para a obtenção do título de Bacharel em Física.

Curitiba, 13 de dezembro de 2010.

Amauri José da Luz Pereira
Coordenador do Curso de Bacharelado em Física

Prof. Msc Amauri José da Luz Pereira
FIES, Física

Prof. João Dias
FIES, Física

Orientador _____

Prof. MSc. Albary Laibida Junior
FIES, Física

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho à minha eterna companheira Silmara, aos meus filhos Juliana, Alfredo, Elisa e Darci e ao meu genro William.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram na elaboração deste trabalho: professores, funcionários e colegas, em especial ao meu Orientador professor Albary Laibida Júnior, por ter dedicado horas e horas na leitura, correção e orientação verdadeira e competente.

Agradecimentos ao professor Amauri José da Luz Pereira, que sem o seu apoio incondicional por 4 anos eu jamais teria chegado aqui, e ao professor Marlos de Oliveira Ribas, que além de um grande mestre é um grande amigo.

In Memoriam, ao professor Octávio Melchíades Ulysséa, pelo apoio, carinho e por me levar a sério.

A resposta certa, não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas.

Mário de Miranda Quintana.

RESUMO

O presente trabalho tem dois objetivos específicos: o primeiro é o monitoramento da variação de propagação de radiofrequência na faixa de 7,00 MHz, influenciada pelas condições iônicas da alta atmosfera, que por sua vez são determinadas pela atividade solar. O segundo, estuda a relação entre a quantidade de descargas atmosféricas na região em que a AMAS está mais próxima da superfície, comparada a outras regiões fora do “mergulho” do cinturão interno de Van Allen.

Palavras-chave: rádio, monitoramento, medidas, ruído, ionosfera, ciclo solar.

ABSTRACT

This work has two specific divisions: The first studies the relationship between the amount of lightning region in which the AMAS is closer to the surface compared to other regions outside the "dip" of inner Van Allen belt. The second is the variation of probing radio propagation radio frequency in the range of 7.00 MHz, influenced by the conditions ion of the upper atmosphere, which in turn are influenced by solar activity.

Key words: radio, monitoring, measurements, noise, ionosphere, solar cycle.

LISTA DE FIGURAS

1	Mapa do campo radial da interface manto-núcleo para 2005.	5
2	Variação do campo magnético na região da AMAS. O epicentro cobre todo o Sul do Brasil. (Fonte Modificada NOAA, 2010)	6
3	A Magnetosfera da Terra (Fonte: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Magnetosfera_p5_Angeloleithold.jpg >, 2007)	7
4	Os cinturões de Van Allen: O primeiro cinturão, o mais intenso, se estende entre de mil e cinco mil qui-lô-me-tros. O segundo cinturão situa-se entre 15 mil e 25 mil quilômetros. (Fonte: < http://www.apolo1.com/spacenews.php?daptosi=0060810-090738.inc >, 2007).....	8
5	Na parte frontal da figura, percebe-se a deflexão magnética que ocorre com as partículas ao atingir a magnetosfera(Fonte modificada: NASA, 2007) . . .	9
6	Partícula em movimento num campo contendo um gradiente paralelo (Fonte Modificada Coutinho, E. F., 1972)	28
7	Movimento da partícula em campo onde o gradiente é normal. (Fonte: COUTINHO, E.F. 1972)	30
8	Convergência do campo magnético da Terra nos pólos. (Fonte: Gary Glatzmaier - Los Alamos National Laboratory)	31
9	Regiões ou camadas da Ionosfera da Terra. Durante o dia de baixo para cima: C, D, E e F. Durante a noite somente a região F permanece. Esporadicamente ocorre a camada “E Esporádica”. (Fonte: Angeloleithold Wikipedia, Dez. 2004)	32
10	Espelhamento de partícula entre hemisférios. Entre 20° e 30° Latitude Sul é a região de menor intensidade de campo magnético, e menor altitude. (Fonte Modificada COUTINHO, E.F.; 1972)	34

11	Intensidade de campo magnético na região da AMAS dada em nT. A marcação em azul, entre as Latitudes aproximadas de 16° e 32° Sul, indica a região de menor campo magnético. O círculo vermelho com marcação de centro, indica a região aproximada de reflexão de partículas. (Fonte: Modificada NGDC NOAA 2010)	36
12	Antena e transceptor. Laboratório de radiociência montado na residência do autor equipamentos próprios. Latitude: 25°30'52"S, Longitude:49°14'44"W. (Fonte: Leithold, A.A. 2007)	40
13	Laboratório de radiociência durante os preparativos de radiomonitoramento (Fonte: Leithold, A. A.; 2008)	43
14	Espectrômetro de Pardinho durante os testes iniciais de transmissão e instalação do sistema irradiante. (Fonte modificada: Pereira, E.; 2008)	44
15	No lado esquerdo, está uma vista aérea do local onde foi instalada a antena de quadro vertical para radiociência. As linhas foram reforçadas pelo fato de não estar claras na imagem. No lado direito está a foto da antena e todo o seu detalhamento. (Fontes: Lado direito Google Earth modificado, lado esquerdo: Leithold, A. A.; 2007)	45
16	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: 1- Monitoramento por satélites. (Fonte Modificada: NASA) - 2- Localização do Espelho Magnético em 1972 (Fonte: COUTINHO, E.F. 1972) - 3 Monitoramento ELAT. (Fonte Modificada: ELAT-INPE 2010) 4- Descargas Atmosféricas por metro quadrado por ano.(Fonte Modificada: NASA, 2010)	48
17	Mancha solar 1007. (Fonte modificada: NASA, 2008)	51

18	Chegada de RX proveniente da atividade solar juntamente com a mancha solar 1007 - 27/10/08 a 30/10/08, se observa que não houve uma grande variação dos RX além de um pequeno aumento de intensidade. (Fonte modificada: NASA, 2008)	52
19	Monitoramento de RX de 27/10/2008 a 10/11/2008, do dia 02/11/2008 ao dia 08/11/2008 nota-se um aumento da intensidade dos RX, principalmente entre 1,0 a 8,0 Å. (Fonte modificada: NASA, 2008)	53
20	Registro do ruído de fundo comparado ao sinal enviado do Laboratório de Radiociência em 08/11/2008, às 22:30 UTC. (Fonte modificada - cores invertidas e edição: Pereira, E., espectrômetro do SDRZero Pardinho-SP, 2008) .	54
21	Taxa de chegada de elétrons entre os dias 22/10/2008 e 10/11/2008, o círculo que marca o dia 04/11/2008 mostra que o satélite estava fora do ar. (Fonte modificada: NASA, 2008	55
22	Suposto Black-out total na faixa de 7,00 MHz em 0h00min UTC 08/11/2008. (Fonte Modificada: Pereira, E. - SDRZero, 2008)	57
23	Suposto retorno da propagação em 7,00 MHz. Em 01h20min UTC 08/11/2008. (Fonte modificada: Pereira, E.; 2008)	58
24	Grupo Eletricidade Atmosférica (ELAT INPE). Losangos brancos : Localização das estações de sensoriamento de descargas atmosféricas. (Fonte modificada ELAT, 2007)	59
25	Descargas atmosféricas e RX de 10 a 13/05/2009, 06 a 09/07/2009 e 15 a 18/07/2009. (Fontes modificadas: INPE- ELAT - Mapas do Brasil e descargas atmosféricas, 2009; NASA: Índices de RX captados pelos sensores dos satélites GOES, 2009)	60

26	Gráfico de intensidade de RX de 07 à 10 de 05 de 2009. Não há uma chegada de RX significativa nos comprimentos de ondas do 0,5 a 4,0 Å. Há fortes picos de RX entre 1,0 a 8,0 Å. (Fonte modificada: NASA, 2009)	61
27	RX de 04/07/2009 a 07/07/2009. Entre 04 e 07 de julho de 2009 há oscilações de Raios X.(Fonte modificada: NASA, 2009)	62
28	Descargas atmosféricas e RX de 10 a 13/05/2009, 06 a 09/07/2009 e 15 a 18/07/2009. (Fontes modificadas: INPE- ELAT - Mapas do Brasil e descargas atmosféricas; NASA: Índices de RX captados pelos sensores dos satélites GOES, 2009)	62
29	RX de 05/07/2009 a 08/07/2009.(Fonte modificada: NASA,2009)	63
30	Descargas de 10/07/2009 a 16/07/2009. (Fonte modificada: INPE, 2009)	64
31	RX de 08/07/2009 a 11/07/09. (Fonte modificada: NASA, 2009)	65
32	RX de 10/07/2009 a 13/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)	65
33	RX de 12/07/2009 a 15/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)	66
34	RX de 12/07/2009 a 15/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)	66
35	Descargas atmosféricas 05/05/2009 a 11/05/2009.(Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)	67
36	Descargas atmosféricas 01/07/2009 a 07/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)	68
37	Descargas atmosféricas 16/07/2009 a 22/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)	69
38	Descargas atmosféricas 21/07/2009 a 27/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)	70

39	Fluxo RX 22/07/2009.(Fonte modificada: NASA, 2009)	71
40	Descargas atmosféricas de 12/05/2009 a 06/08/2009. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas.(Fonte modificada: ELAT-INPE)	79
41	Descargas atmosféricas de 07/08/2009 a 05/10/2009. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)	80
42	Descargas atmosféricas de 11/10/2009 a 01/02/2010. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)	81
43	Descargas atmosféricas de 04/02/2010 a 23/05/2010. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)	82
44	CONDIÇÕES DE CONTORNO - 1972/07 - AFCRL - Air Force - Cambridge - Research - Laboratories - Mass - USA. Valores para a Anomalia Magnética Brasileira. Retirada do artigo: Partículas Presas na Região da Anomalia Brasileira COUTINHO, E.F.	84
45	Valores BM para a Anomalia Magnética Brasileira (AMAS) - 1972/07 - AFCRL - Air Force - Cambridge - Research - Laboratories - Mass - USA. Valores para a Anomalia Magnética Brasileira. Retirada do artigo: Partículas Presas na Região da Anomalia Brasileira COUTINHO, E.F.	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 PREÂMBULO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	4
2.2 O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA	4
2.3 MAGNETOSFERA	7
2.4 CINTURÕES DE VAN ALLEN	8
2.5 DEFLEXÃO DE PARTÍCULAS E IONIZAÇÃO DA ALTA ATMOSFERA	9
2.6 TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA NA ALTA ATMOSFERA	10
2.7 DINÂMICA DE UMA PARTÍCULA CARREGADA EM CAMPO MAGNÉTICO .	12
2.8 DINÂMICA DE UMA PARTÍCULA CARREGADA EM CAMPO ELETROMAG- NÉTICO	17
2.9 CAMADAS IÔNICAS E SUA DINÂMICA	32
2.10 O EVENTO DE 4 DE AGOSTO DE 1972	37
2.11 RADIOCIÊNCIA	39
3 EXPERIMENTOS PROPOSTOS, MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 PREÂMBULO DOS EXPERIMENTOS, MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.2 MONITORAMENTO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO NA FAIXA DE 7,00 MHZ (40 m)	43

3.3 MONITORAMENTO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	47
4 ANÁLISE DOS DADOS, RESULTADOS OBTIDOS	50
4.1 PREÂMBULO DOS RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	50
4.2 ANÁLISE DO EVENTO SOLAR OCORRIDO E 29 DE OUTUBRO DE 2008 .	51
4.3 ANÁLISE DOS DADOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO DA AMAS, ENTRE 2009 E 2010	59
4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICES	78
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros movimentos intrínsecos ao planeta Terra, os de rotação e translação são os mais fáceis e intuitivos em sua observação. Em conjunto com o Sol, estes movimentos constituem provavelmente os principais mecanismos de manutenção da vida terrestre. Há que se atentar, no entanto, para a existência de outra sorte de movimentos, intrínsecos à dinâmica terrestre, mas que não são facilmente observáveis. Estes, por sua vez, se devem à natureza fluida das partes interiores do planeta.

É sabido que a temperatura das camadas interiores da Terra é alta. Os valores chegam a ponto de manter fundidos os elementos que nela figuram. Elementos tais como Ferro, Cobre, Níquel, dentre outros, ricos em elétrons desemparelhados, movimentam-se nestas camadas devido a gradientes de temperatura. Desta forma, a superposição dos movimentos de rotação, translação e os movimentos da massa fluida no interior do planeta, acaba por gerar um campo magnético intrínseco à Terra. Este complexo mecanismo é o chamado “Dínamo Terrestre” [1].

A natureza magnética do campo requer que as linhas que o definem sejam fechadas, i.e. que comecem e terminem em pontos bem definidos. Em função disto, existem dois pólos magnéticos, a saber: Norte e Sul. Desta forma, as linhas de campo magnético circundam a Terra transformando-a num ímã de dimensões colossais [2].

Em 1958 James Van Allen, ao estudar a parte mais externa do campo magnético terrestre, denominada de magnetosfera, observou uma região em que o campo em questão aprisiona uma grande parte das partículas provenientes do Cosmos e do Sol. Na continuidade das pesquisas, foi descoberto que o mesmo mecanismo que aprisionava as partículas, acabava por formar uma espécie de “escudo protetor” contra partículas carregadas de alta energia. Este escudo, na verdade, não se tratava de um somente, mas dois, distanciados entre si por muitos quilômetros [3]. Para estas duas regiões especiais do Espaço Interplanetário, em homenagem ao seu descobridor, foi dado o nome de “Cinturões de Radiação de Van Allen”. Estes foram definidos como zonas da magnetosfera terrestre, uma interna e outra externa, onde se concentram muitas partículas carregadas, cujo formato é toroidal e envolve a Terra. O mais interno se situa entre mil e cinco mil quilômetros de distância da superfície do planeta, o externo está localizado entre quinze mil e trinta mil quilômetros de altitude [4].

A nave espacial soviética Sputnik V, lançada a 19 de agosto de 1960, ao sobrevoar

a região costeira sul brasileira, registrou anormalmente altas taxas de radiações na altitude de trezentos quilômetros. Posteriormente, os cientistas soviéticos Nesterov e Vernov, por meio de instrumentos embarcados nas naves Cosmos 4, 7, 9 e 15, investigaram a região e constataram que os altos valores encontrados eram causados pela baixa altitude do Cinturão Interno de Van Allen [5].

Desde a descoberta dos cinturões e das medições da radiação, se observou que a causa das altas taxas era uma anômala redução dos valores de intensidade de campo magnético. Ou seja, os valores eram muito menores do que os esperados para a latitude sul, em comparação aos campos medidos na mesma latitude norte. Até a descoberta dos cinturões de radiação e das constatações dos cientistas russos, os antigos e modernos navegadores já haviam mapeado o campo magnético terrestre. Foram observadas e marcadas nos mapas muitas variações das linhas de navegação magnéticas (Linhas Isogônicas) em todo o planeta.

Os navegadores deveriam ter especial atenção nestas regiões onde o campo magnético parecia ser anômalo, pois caso contrário os erros poderiam causar sérios problemas de navegabilidade e rotas.

Dentre as anomalias magnéticas constatadas nas cartas de navegação, uma em especial, situada no sul do Oceano Atlântico, entre a costa Oeste da África do Sul e Leste da América do Sul, era a que apresentava a maior variabilidade de intensidade e direção. Com o avançar dos estudos e mapeamentos, a região foi chamada de “Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul”, ou simplesmente Anomalia Magnética do Atlântico Sul, AMAS ou SAMA (do inglês, South Atlantic Magnetic Anomaly) [6].

A AMAS pode ser definida como uma região especial, pois a intensidade do campo magnético é muito menor, e a penetração das partículas energéticas, é muito maior do que em qualquer outra parte de toda a Terra. Os valores do campo magnético nas proximidades do epicentro, a cem quilômetros de altitude, são em torno de 0,25 G, muito abaixo do esperado. Hartmann, em 2005, estudou as coordenadas históricas de navegação a partir de 1550. Ele mostrou o comportamento do campo magnético da Terra. Barraclough, 1974, elaborou modelos a partir de dados de 1600 até 1910, em seus estudos verificou que o limite sul da região tem permanecido praticamente constante, enquanto uma expansão em longo prazo tem sido medida para Noroeste, Norte, Nordeste e Leste. Por isso, tal intensidade de campo magnético, permite que as reflexões magnéticas de partículas presas,

ocorram em altitudes bem menores do que as correspondentes no hemisfério norte, tendo maior probabilidade de choques com elementos constituintes da Atmosfera. Comparando-se os modelos obtidos a partir das antigas cartas com dados contemporâneos, observa-se que um fluxo de partículas cósmicas coincide com a baixa intensidade magnética da região. Confirma-se também uma deriva para Oeste e variações em latitude.

Em outra comparação entre as intensidades de campo com as medidas de observatórios, há indícios de que as colunas de convecção e regiões de fluxo reverso no núcleo externo, podem ser causadoras do baixo campo na região [7]

Este trabalho teve dois objetivos específicos, sendo o primeiro, o monitoramento da variação de propagação de radiofrequência na faixa de 7,00 MHz (HF), influenciada pelas condições iônicas da alta atmosfera, que por sua vez são determinadas pela atividade solar, na região interior da AMAS.

O segundo objetivo, é a comparação entre a quantidade de descargas atmosféricas na região em que a AMAS está mais próxima da superfície, comparada a outras regiões fora do “mergulho” do cinturão interno de Van Allen, ou seja, fora da região da AMAS [8].

A partir da Introdução, foi feita a revisão literária da Magnetosfera, suas anomalias, e, em especial, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Foi descrita matematicamente a dinâmica de uma partícula imersa num campo eletromagnético, estudada a Ionosfera e discutido brevemente o efeito do “espelho magnético” e a generalização da partícula imersa no campo magnético. Procurou-se finalmente detectar a influência da AMAS na precipitação de partículas presas, e, investigar alguma correlação entre a região do epicentro da AMAS com a quantidade de descargas atmosféricas na região pelo aumento da energia cinética transferida ao meio.

No estudo em radiofrequência, foi constatado que existe forte correlação entre a região, os ruídos de fundo e a propagação de RF. No caso das descargas elétricas, houve inconsistências comparadas às medidas de RX. Foi comprovado um índice anômalo de descargas, cuja origem e mecanismos supostamente estão relacionados com a energia cinética transferida ao meio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na ausência de vento solar, os processos físicos que ocorrem muito acima da superfície, na parte superior da atmosfera tênue e na ionosfera, seriam menos notáveis.

2.1 PREÂMBULO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Na alta atmosfera, nas regiões limítrofes, existe um contínuo fluxo supersônico de gás ionizado, ou plasma do Sol, que limita e distorce o campo magnético terrestre em uma cavidade semelhante a uma cauda extensa, que lembra um cometa. Sobre o sul do Brasil, o campo magnético da Terra é mais fraco, isto, dependendo das condições de clima solar, possibilita um contato entre as partículas do cinturão interno de Van Allen e a alta atmosfera. Ocorre uma transferência de energia na região que é modulada pela atividade solar. Tal efeito reflete nas variações iônicas e energéticas da alta atmosfera [9].

2.2 O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

A hipótese do “Dínamo Geomagnético” supõe que no núcleo externo da Terra as interações geológicas do magma, composto basicamente de Níquel e Ferro, têm dois movimentos. O primeiro é provocado pelo gradiente de temperatura existente na camada do núcleo externo. A massa líquida, mais quente e menos densa nas regiões inferiores, sofre convecção. Sobe e se resfria ao chegar próximo a crosta. A densidade aumenta e há um mergulho do material. Ocorrendo assim processos cíclicos de baixo para cima e vice-versa [10]. O segundo movimento consiste na existência de uma aceleração relativa das massas líquidas num sistema em rotação. Esta, é sempre perpendicular ao eixo de giro do sistema e à velocidade da massa líquida, tem ênfase horizontal e é chamada “Força de Coriolis”[11]. O sistema de movimentos no manto terrestre compõe um conjunto de correntes térmicas no meio níquel-ferro em estado de fusão. Movimentações combinadas, supostamente geram o Campo Magnético, ou seja, a convecção e Forças de Coriolis causam fortes movimentações próximas à crosta, gerando corrente elétrica, formando um dínamo auto-excitado, figura 1 [12].

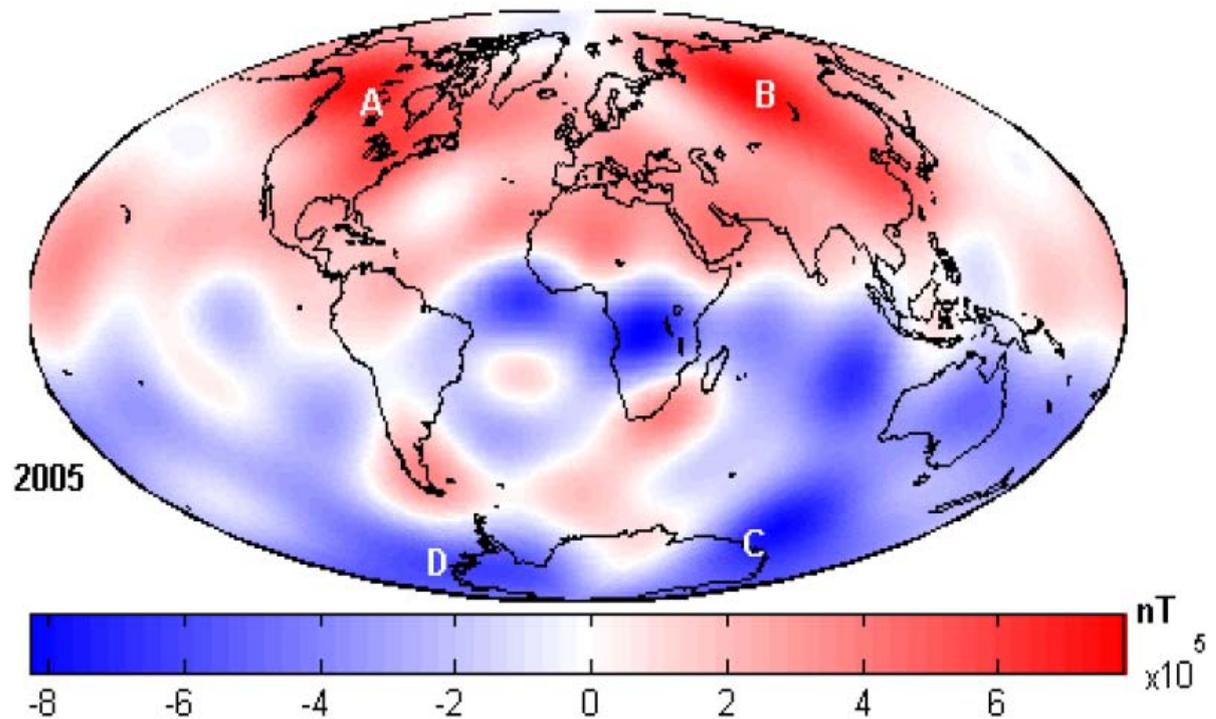


Figura 1: Mapa do campo radial da interface manto-núcleo para 2005. (Fonte: Hartmann, 2005)

O campo principal pode ser resultante das correntes que fluem no núcleo metálico, cujo raio é aproximadamente a metade do raio do Planeta. No Paleomagnetismo, observa-se que a distribuição e a intensidade das correntes que fluem no núcleo, podem ter variado com o passar do tempo. Existem indícios de que a oscilação influenciou fortemente a inversão do campo magnético em intervalos de cem milhões a dez milhões de anos. A configuração das correntes internas é tal, que o campo magnético gerado é um dipolo. As correntes parasitas próximas à crosta e o manto geram irregularidades no campo magnético que são percebidas na superfície. A estas se dá o nome de “anomalias do campo magnético” e têm uma deriva para oeste. Isto indica que existe um movimento diferencial entre a crosta e o núcleo da Terra. [7, 11]. Entre as anomalias do campo magnético da Terra, a AMAS tem maior extensão e pode ser responsável pelos mais diversos fenômenos. Dentre estes, a chegada de partículas carregadas à alta atmosfera, podem gerar forte eletrização, esta supostamente poderia ser responsável por um índice anômalo de descargas atmosféricas, comparado a outras regiões [2, 12].

O epicentro da AMAS tem uma forma aproximadamente elipsoidal com raio en-

tre oitocentos e novecentos quilômetros. Na região o campo é anormalmente tênue, a trezentos quilômetros acima da superfície, seu valor aproximado é de 0,23 Gauss, o que é bastante fraco, pois este seria esperado a mil e quinhentos quilômetros de altitude na mesma Latitude no Hemisfério Norte. Assim, o seu baixo valor facilita a penetração de partículas, logo o índice de radiação é anormalmente alto [13].

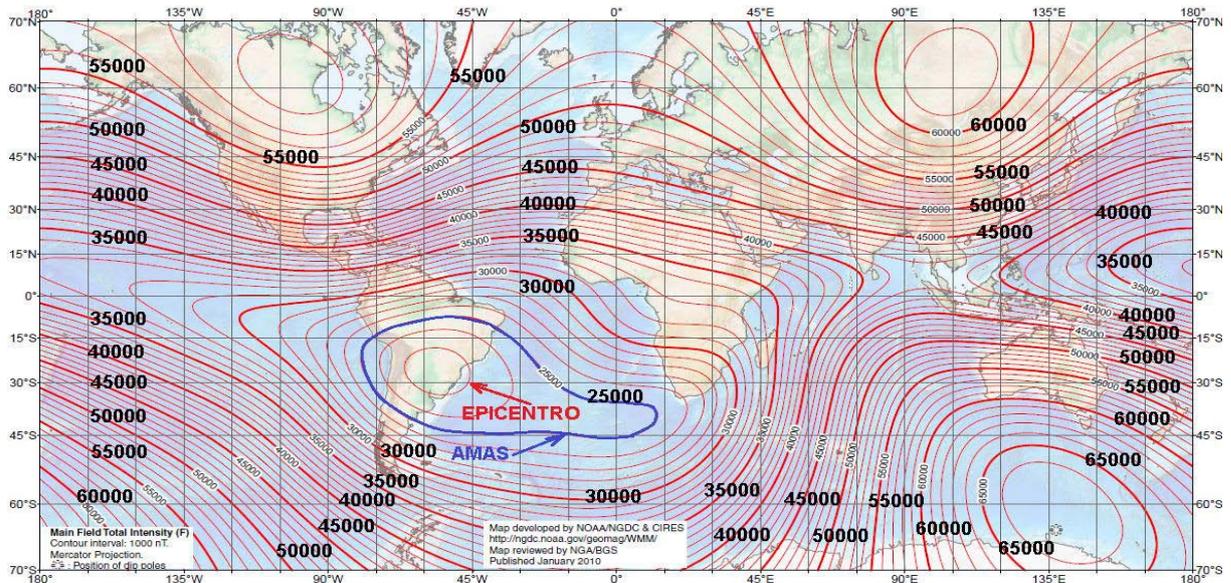


Figura 2: Variação do campo magnético na região da AMAS. O epicentro cobre todo o Sul do Brasil. (Fonte Modificada NOAA, 2010)

Os processos físicos que ocorrem no campo magnético da Terra modulam o fluxo de energia transportada pelo vento solar, formando assim uma cavidade magnética. Esta funciona ora como um escudo, desviando a energia incidente, ora como um acelerador, que, impulsionada pelo vento solar, cria feixes de partículas carregadas que atingem a parte superior da atmosfera neutra. Na figura 2 nota-se que existem diferentes graduações, estas mostram uma variação do campo magnético.

A forma da anomalia e a densidade das partículas variam durante o dia, atingindo o maior valor no meio-dia local. No caso de emissão de radiofrequência, a intensidade dos sinais de rádio transmitidos e refletidos na ionosfera em alta frequência, sofrem variações significativas. Dependendo das condições iônicas, ocorrem na região abrangida pela anomalia fenômenos de aberturas e fechamentos de propagação considerados anômalos.

2.3 MAGNETOSFERA

A Magnetosfera está situada entre quinhentos e sessenta mil quilômetros de distância da superfície da Terra. Contém grande parte da Exosfera, que se situa entre setecentos e dez mil quilômetros do Planeta, é a região mais externa e ampla da atmosfera terrestre.

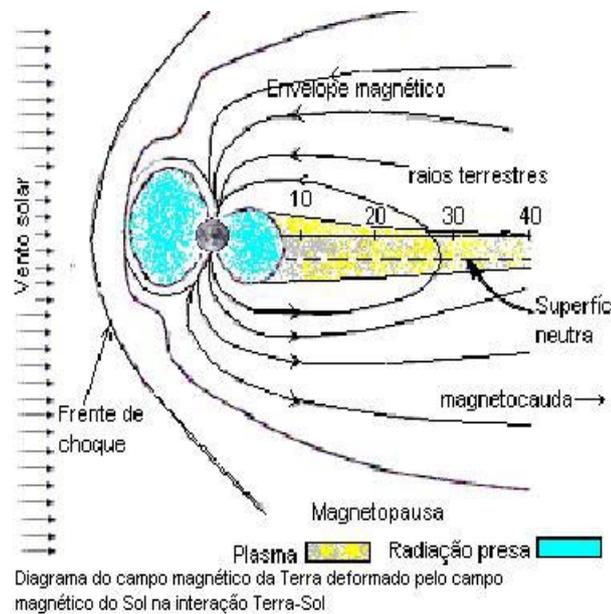


Figura 3: A Magnetosfera da Terra (Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Magnetosfera_p_y5aal_Angeloleithold.jpg>, 2007)

Em geral, a Magnetosfera está a quinhentos quilômetros acima da baixa Ionosfera. Na alta Ionosfera as partículas ionizadas do topo da Atmosfera interagem com maior intensidade com o campo magnético terrestre. Também a Magnetosfera interage com o vento solar numa região denominada Magnetopausa, esta se encontra em torno de sessenta mil quilômetros de distância da superfície da Terra na direção Terra-Sol, e numa distância muito maior na direção oposta [3, 12].

Adiante da Magnetopausa, em direção ao Sol, se encontra a superfície de choque entre o vento solar e o campo magnético. Nesta região o plasma solar é bruscamente freado antes de ser desviado pelas linhas de força da magnetosfera. Após este efeito,

ocorre outro chamado “reconexão”, este dá lugar à formação das auroras polares.

No lado não iluminado pelo Sol, as linhas de campo se deformam e se alargam arrastadas pelo vento solar, chegando a alcançar distâncias de cerca de trezentos mil quilômetros na direção oposta do Sol[14], conforme ilustrado na figura 3.

2.4 CINTURÕES DE VAN ALLEN

Sobre o equador magnético, muitas partículas carregadas provindas do Sol são capturadas pela Magnetosfera. A captura se divide em duas regiões, nestas existem grandes quantidades de partículas altamente energéticas, têm o nome de “Cinturões de Van Allen”[15].

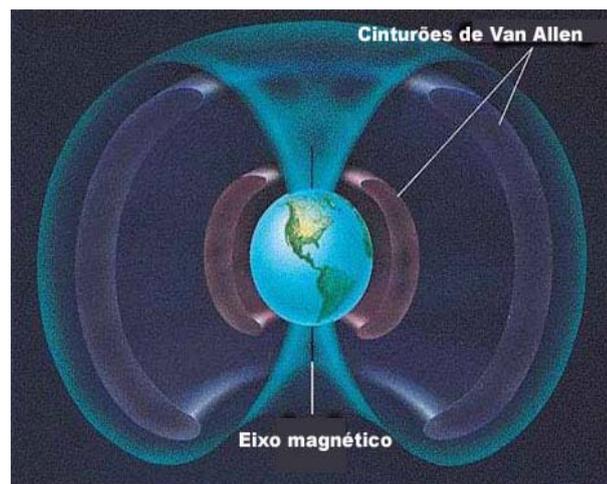


Figura 4: Os cinturões de Van Allen: O primeiro cinturão, o mais intenso, se estende entre de mil e cinco mil quilômetros. O segundo cinturão situa-se entre 15 mil e 25 mil quilômetros. (Fonte: <[http : //www.apolo11.com/spacenews.php?posic = dat_20060810 - 090738.inc](http://www.apolo11.com/spacenews.php?posic = dat_20060810 - 090738.inc)>, 2007)

O Cinturão mais próximo da superfície da Terra é o mais intenso, está na região chamada zona interior, possui elétrons com energias acima de 20 keV e prótons com energias maiores que 40 MeV. Se estende entre de mil e cinco mil quilômetros. A intensidade máxima ocorre na distância aproximada de três mil quilômetros da superfície. Basicamente é composto de prótons altamente energéticos que se originam pelo decaimento de

nêutrons. Ou seja, os prótons são produzidos quando partículas altamente energéticas ou raios cósmicos provindos do Sol ou do espaço exterior colidem com átomos e moléculas da atmosfera terrestre.

O Cinturão externo possui elétrons com energias acima de 20 keV, e prótons cuja energia é acima de 60 MeV. Situa-se entre 15 mil e 25 mil quilômetros de altitude [12], a figura 4 mostra sua conformação e posição.

2.5 DEFLEXÃO DE PARTÍCULAS E IONIZAÇÃO DA ALTA ATMOSFERA

A magnetosfera deflete grande quantidade de partículas provindas do Sol e do espaço profundo. Os cinturões de Van Allen capturam uma parcela, embora pequena deste fluxo, em termos planetários significativa.

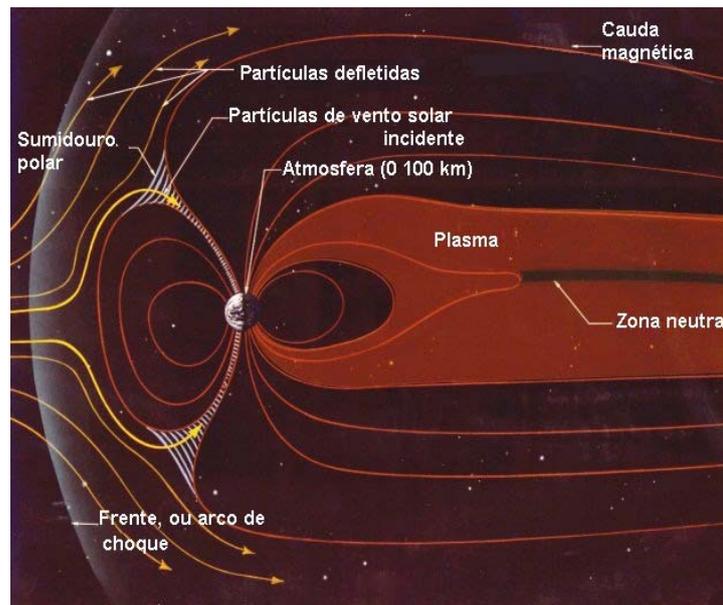


Figura 5: Na parte frontal da figura, percebe-se a deflexão magnética que ocorre com as partículas ao atingirem a magnetosfera (Fonte modificada: NASA, 2007)

As partículas dirigem-se, como numa linha de transmissão de energia eletromagnética, para a ionosfera e ocorre a troca energética entre as partículas e a região atingida por estas. A densidade e a ionização da atmosfera superior da Terra, são influenciadas pelas variações de radiação ultravioleta e raios-X, além do choque de partículas mais mas-

sivas. Assim, a matéria provinda do Sol ioniza a alta atmosfera e suas camadas mais profundas. O processo de ionização ocorre por dois mecanismos distintos [16]. A absorção da radiação eletromagnética pelos elementos neutros, chamada “fotoionização”, ocorre durante o dia. Outro processo ocorre devido às colisões entre as partículas energéticas com os constituintes neutros da alta atmosfera, chamado “ionização corpuscular”.

A interação entre o campo magnético do Sol e o campo magnético da Terra, tem como consequência a modulação da magnetosfera terrestre pela variação do campo magnético do Sol. Neste processo a intensidade varia conforme avança a atividade solar. Os efeitos são observáveis de diversas formas, dentre estas, a propagação de RF em função da densidade iônica, ou alterações de altitude da ionosfera.

As radiações eletromagnéticas e as partículas ejetadas oriundas do Sol e do Espaço profundo, não são suficientemente defletidas, ou desviadas, pelo “escudo magnetosférico”, ocorrendo assim, no caso das partículas, seu aprisionamento pelos cinturões de Van Allen, e, no caso das “ondas de radiação”, o fornecimento de energia que favorece a ionização nas camadas mais abaixo [7].

2.6 TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA NA ALTA ATMOSFERA

As alterações iônicas e de densidade de partículas causadas pelo avanço do ciclo solar, quando este está em seu momento de subida, propiciam oscilações de temperatura para cima na região inferior da exosfera, também ocorrem variações na distribuição das diversas camadas ionosféricas que afastam-se entre si. As camadas são divididas e oscilam conforme a época do ano, ciclo solar e região da Terra. Devido aos fenômenos de transporte e choques entre partículas na alta atmosfera, a transferência de energia cinética, ionização corpuscular, varia sensivelmente [4, 13].

Basicamente, os choques entre as partículas oriundas das regiões superiores e inferiores da alta atmosfera, transferem os momentos lineares e as energias a uma distância igual à distância que separa os centros das partículas interagentes no instante da colisão. A energia é transferida aos constituintes neutros da alta atmosfera, e os efeitos são observáveis de diversas formas, dentre estas, a oscilação da propagação de RF em diversas frequências. Em função da densidade iônica, as colisões entre moléculas dos

gases atmosféricos, ocasionam uma variação em suas velocidades. Consequentemente acontece a mudança no número de pontos que se encontram no elemento de volume do espaço de fase. Se as dimensões das partículas dos gases são pequenas se comparadas ao livre caminho médio, as transferências de propriedades atômicas se dão unicamente por colisões entre os constituintes do gás. Contudo, quando a distância média entre constituintes atmosféricos se compara à dimensão destes e a densidade aumenta, um mecanismo de transferência de momento linear e energia surge. Devido ao adensamento do gás, o volume que pode ser ocupado por uma partícula constituinte e a probabilidade de colisão aumenta. Por isso, íons acelerados provindos da atmosfera superior, menos densa, têm grandes probabilidades de choque com moléculas e átomos livres na atmosfera mais abaixo. Como as camadas atmosféricas inferiores têm aumento de densidade molecular e a possibilidade de choques aumenta, este incremento faz a energia cinética transferida ao meio também se elevar substancialmente. Com o aumento da energia cinética, as partículas que ainda não se chocaram com os constituintes da atmosfera, têm um aumento de cargas. Os gases atmosféricos assim têm aumento de energia cinética e de cargas elétricas, desta forma, é propiciado um aumento de temperatura, choques entre moléculas e de cargas elétricas propriamente ditas [17].

O incremento de energia cinética, pode aumentar além da temperatura e cargas eletrônicas, também as movimentações nos gases pela convecção, além de outros fenômenos de transporte. No caso dos íons e elétrons livres, pode ocorrer substancial incremento nas correntes elétricas do meio, consequentemente os índices de eletricidade atmosférica na região do mergulho da AMAS pode ter significativo aumento, não somente pelo atrito, mas pela indução de cargas propriamente ditas, conforme é descrito na seção “Dinâmica de uma Partícula Carregada Imersa em Campo Magnético” [12].

2.7 DINÂMICA DE UMA PARTÍCULA CARREGADA EM CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético terrestre é equivalente a um dipolo magnético com Pólo Sul magnético próximo ao Pólo Norte geográfico, e, com o Pólo Norte de campo magnético próximo ao Pólo Sul geográfico. Se apresenta como um tipo especial de magnetismo. É um fenômeno natural originado pelos movimentos dos metais líquidos na interface manto-núcleo do planeta e está presente na Terra e em outros corpos celestes. Tal campo é composto por linhas de força cujos vetores apontam em grande parte em direção aos pólos. As partículas carregadas provenientes do Sol e do espaço interestelar são capturadas e imersas no campo magnético da Terra. Confinadas nos Cinturões de Van Allen, adquirem um movimento helicoidal e ocorre um efeito chamado “espelho magnético”.

No caso do Cinturão Interno de Van Allen, o fenômeno é detectável por diversos métodos. Em seu aparente contacto com a atmosfera superior, pode ocorrer a sua eletrização, e, conseqüentemente a transferência de energia à Ionosfera. Desta forma, é possível a transferência energética às camadas mais inferiores da Atmosfera, podendo aumentar inclusive a eletrização no topo da Troposfera.

Na interface cinturão interno de Van Allen-Ionosfera, muitas partículas acabam escapando em direção à Ionosfera. Nesta dinâmica ocorre uma série de efeitos, desde o provável carregamento elétrico da alta atmosfera, a variações dos índices de propagação de radiofrequência, dentre outros.

Nesta seção está descrita a dinâmica de uma partícula carregada imersa num campo eletromagnético uniforme, pois existe uma componente elétrica nas regiões atmosféricas. Desta forma, está descrito o movimento de uma partícula, pois ao se tratar de quantidades substanciais daquelas, a descrição se torna extremamente complexa e desnecessária [13]. A equação (1) mostra a equivalência entre a força de Lorentz e a segunda Lei de Newton.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{\dot{r}} \times \mathbf{B} = m\ddot{\mathbf{r}} \quad (1)$$

Para a incidência de uma partícula, para uma dada velocidade resulta no sistema de equações acopladas:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{qB_0}{m}\dot{y} \\ \ddot{y} = -\frac{qB_0}{m}\dot{x} \\ \ddot{z} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

onde, a partir das condições iniciais genéricas em $t=0$, chega-se a:

$$\begin{aligned} \ddot{z} = 0 \implies \dot{z} = C \implies \int_{z_0}^z dz = C \int_0^t dt \implies z - z_0 = Ct \\ \dot{z}(t=0) = \dot{z}_0 = C \end{aligned}$$

e a posição (x_0, y_0, z_0) , cuja velocidade é $(\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0)$, a componente ao longo de \hat{e}_3 é:

$$z(t) = z_0 + \dot{z}_0 t \quad (3)$$

é a velocidade inicial da partícula ao longo do eixo z. As equações restantes são:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{qB_0}{m}\dot{y} \\ \ddot{y} = -\frac{qB_0}{m}\dot{x} \end{cases} \quad (4)$$

Ora, quando uma partícula carregada está dentro de um campo magnético uniforme e constante, a força magnética sobre si confina-a em movimento circular num plano normal ao campo, a partícula gira. Ao longo do vetor do campo magnético, se a partícula é positiva, seu giro é anti-horário, se negativa, o giro é horário.[12]

O tempo de uma volta completa é chamado "giro-período", no caso de elétrons, estes têm um milhão de giro-períodos por segundo (Que resultam numa frequência de giro

de 1 MHz). Assim, se introduz a frequência de cíclotron [13]:

$$\omega = \frac{qB_0}{m} \quad (5)$$

Com a equação (5) em (4) e multiplicando por i se obtém,

$$\begin{cases} \ddot{x} = \omega\dot{y} \\ \ddot{y} = -\omega\dot{x} \times (i = \sqrt{-1}) \end{cases} \quad (6)$$

e, somando, chega-se a:

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = -i\omega(\dot{x} + i\dot{y}) \quad (7)$$

Rearranjando os termos e por meio da troca de variáveis se obtém

$$\dot{u} = \dot{x} + i\dot{y} \implies \ddot{u} = \ddot{x} + i\ddot{y} \quad (8)$$

Logo, o sistema de equações (6) se reduz a

$$\frac{d\dot{u}}{dt} = -i\omega\dot{u} \quad (9)$$

Cuja solução, após integrar é:

$$\dot{u} = \dot{u}_0 e^{-i\omega t} \quad (10)$$

Das condições iniciais impostas $u_{(t=0)} = u_0$, chega-se, desta forma a

$$\dot{u}_0 = \dot{x}_0 + i\dot{y}_0 = V e^{i\alpha} \quad \text{para } V \in \mathbb{R} \quad (11)$$

ora, logicamente, se obtém

$$\sqrt{\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2} = V \quad (12)$$

O argumento da equação (11) é

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\Im(\dot{u}_0)}{\Re(\dot{u}_0)} = \frac{x_0}{y_0} \quad (13)$$

Desta forma, para x e para y se obtém as equações (14) e (15) que mostram perfeitamente a trajetória da partícula

$$x = x_0 + \frac{V}{\omega} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \quad (14)$$

e

$$y = y_0 + \frac{V}{\omega} \cos(\omega t - \alpha) - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \quad (15)$$

ora, assim

$$\begin{cases} x = x_0 + \frac{V}{\omega} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \\ y = y_0 + \frac{V}{\omega} \cos(\omega t - \alpha) - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \end{cases} \quad (16)$$

A finalidade é chegar na expressão que mostra a trajetória da partícula, assim eleva-se a equação (16) ao quadrado, e se obtém:

$$\begin{cases} \left(x - x_0 - \frac{\dot{y}_0}{\omega} \right)^2 = \left[\frac{V}{\omega} \sin(\omega t - \alpha) \right]^2 = \left[x - \left(x_0 + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \right) \right]^2 \\ \left(y - y_0 + \frac{\dot{x}_0}{\omega} \right)^2 = \left[\frac{V}{\omega} \cos(\omega t - \alpha) \right]^2 = \left[y - \left(y_0 - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \right) \right]^2 \end{cases} \quad (17)$$

Logo, após a soma se obtém

$$\left[x - \left(x_0 + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \right) \right]^2 + \left[y - \left(y_0 - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \right) \right]^2 = \frac{V^2}{\omega^2} [\cos^2(\omega t - \alpha) + \sin^2(\omega t - \alpha)] \quad (18)$$

e chega-se a

$$\left(\frac{V}{\omega} \right)^2 = \left[x - \left(x_0 + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \right) \right]^2 + \left[y - \left(y_0 - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \right) \right]^2 \quad (19)$$

das manipulações algébricas chega-se assim ao raio “R” do círculo:

$$R = \frac{V^2}{\omega^2} \left[\frac{\dot{x}_0^2}{V^2} + \frac{\dot{y}_0^2}{V^2} \right] = \frac{1}{\omega} \sqrt{\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2} \quad (20)$$

A partícula descreve uma circunferência no plano x, y , cujo raio R é dado pela equação (20). É facilmente percebido que R depende das velocidades iniciais e da frequência de cíclotron.

Portanto, depende da massa da partícula e da carga do campo magnético onde está inserida. Além disso, a partícula descreve um movimento retilíneo uniforme no eixo z .

A conclusão óbvia, é que a sobreposição de ambos os movimentos gera uma trajetória helicoidal, ou seja, em forma de “rosca de parafuso”. Considerando a partícula imersa num campo eletromagnético uniforme, se obtém [13]:

$$q \left[\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B} \right] = m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (21)$$

que é equivalente a

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{m}{q} \ddot{x} = E_1 + B_3 \dot{y} \\ \frac{m}{q} \ddot{y} = E_2 - B_3 \dot{x} \\ \frac{m}{q} \ddot{z} = E_3 \end{array} \right. \quad (22)$$

Desta forma, é descrito o movimento de uma partícula carregada num campo magnético constante e uniforme. Também chega-se à conclusão que a força magnética sobre a partícula carregada é sempre normal ao vetor do campo e ao vetor que representa a velocidade da partícula.

2.8 DINÂMICA DE UMA PARTÍCULA CARREGADA EM CAMPO ELETRO-MAGNÉTICO

A resolução para a partícula imersa num campo eletromagnético uniforme é a mesma que para a partícula imersa num campo magnético uniforme, excetuando-se a inserção agora do campo elétrico.

Todos os passos seguem a lógica da resolução anterior, o formalismo utilizado segue Chen [13], assim:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{q}{m}E_1 + \frac{B_3q}{m}\dot{y} \\ \ddot{y} = \frac{q}{m}E_2 - \frac{B_3q}{\omega}\dot{x} \\ \ddot{z} = \frac{q}{m}E_3 \end{array} \right. \quad (23)$$

desta forma, quando a partícula carregada está sob a influência do campo elétrico inserido, o "giro-período", "frequência de cíclotron" [13]:

$$\omega = \frac{B_3q}{m} \quad (24)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{q}{m}E_1 + \omega\dot{y} \\ \ddot{y} = \frac{q}{m}E_2 - \omega\dot{x}(i = \sqrt{-1}) \end{array} \right. \quad (25)$$

conforme a equação (6):

$$\begin{cases} i\ddot{y} = \frac{q}{m}E_2i - \omega\dot{x}i \\ \ddot{x} = \frac{q}{m}E_1 + \omega\dot{y} \end{cases} \quad (26)$$

chega-se a

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \frac{q}{m}E_1 + \frac{q}{m}E_2i + \omega\dot{y} - \omega\dot{x}i \quad (27)$$

$$\ddot{x} + i\ddot{y} = \frac{q}{m}(E_1 + E_2i) - \omega i(\dot{x} + i\dot{y}) \quad (28)$$

assim, da mesma forma que anteriormente

$$\begin{cases} \dot{u} = \dot{x} + i\dot{y} \Rightarrow \ddot{x} + i\ddot{y} \\ \mathcal{E} = E_1 + iE_2 \end{cases} \quad (29)$$

o resultado é:

$$\ddot{u} = \frac{q}{m}\mathcal{E} - i\omega\dot{u} \quad (30)$$

logo, o sistema fica da seguinte forma:

$$\begin{cases} \ddot{u} = \frac{q}{m}\mathcal{E} - i\omega\dot{u} \\ \ddot{z} = \frac{q}{m}E_3 \end{cases} \quad (31)$$

isolando e integrando \ddot{z} , chega-se a

$$\ddot{z} = \frac{q}{m} E_3 \Rightarrow \int_{z_0}^z \ddot{z} dt = \frac{q}{m} E_3 \int_{t_0}^t dt \quad (32)$$

consequentemente, resulta em

$$\dot{z} - \dot{z}_0 = \frac{q}{m} E_3 t \quad (33)$$

ora, isolando \dot{z} , o resultado óbvio é

$$\dot{z} = \dot{z}_0 + \frac{q}{m} E_3 t \quad (34)$$

ao integrar novamente se obtém

$$\int_{z_0}^z \dot{z} dt = \int_{t=0}^{t=t} \dot{z}_0 dt + \frac{q}{m} E_3 \int_{t=0}^{t=t} t dt \quad (35)$$

e, chega-se à seguinte solução:

$$z - z_0 = \dot{z}_0(t - 0) + \frac{q}{m} E_3 \left(\frac{t^2}{2} - \frac{0}{2} \right) \quad (36)$$

Naturalmente, se observa que há uma equivalência com o formalismo anterior, na equação (3) a solução é um movimento retilíneo uniforme.

Enquanto que na equação (37), por conta do campo elétrico, este é um movimento retilíneo uniformemente acelerado [13], assim:

$$z = z_0 + \dot{z}_0 t + \frac{q}{m} E_3 t^2 \quad (37)$$

logo

$$\frac{d\dot{u}}{dt} + i\omega\dot{u} = \frac{q\mathcal{E}}{m} \quad (38)$$

mas

$$\dot{u}(t) = e^{-i\omega t} \left[\int^t \frac{q\mathcal{E}}{m} e^{i\omega t'} dt' + D \right] \quad (39)$$

observar a equação (40),

$$\dot{u}(t) = -\frac{iq}{m\omega} \mathcal{E} + D e^{-i\omega t} \quad ; \quad \omega = \frac{qB}{m} \quad (40)$$

Que resulta em

$$\dot{u}(t) = -i\frac{\mathcal{E}}{B} + D e^{-i\omega t} \quad (41)$$

Novamente, das condições iniciais $\dot{u}(t=0)$

$$\Rightarrow \dot{u}(t=0) = -i\frac{\mathcal{E}}{B} + D = \dot{x}_0 + i\dot{y}_0 = \dot{u}_0 \quad (42)$$

chega-se a

$$D = \frac{i\mathcal{E}}{B} + \dot{u}_0 \quad (43)$$

e assim

$$\dot{u}(t) = \left(\dot{u}_0 + \frac{i\mathcal{E}}{B} \right) e^{-i\omega t} - \frac{i\mathcal{E}}{B} \quad (44)$$

Ora, como V pertence a \mathbb{R}

$$\left(\dot{u}_0 + \frac{i\mathcal{E}}{B} \right) e^{-i\omega t} = V e^{i\alpha} \quad ; \quad V \in \mathbb{R} \quad (45)$$

chega-se na seguinte expressão, onde se usando somente os módulos

$$\left| \left(\dot{x}_0 - \frac{E_2}{E_3} \right) + \left(\dot{y}_0 + \frac{E_1}{B} \right) i \right| = \left| V e^{\alpha - \omega t} \right| = \left| V \right| \left| e^{\alpha - \omega t} \right| \quad (46)$$

isto resulta em

$$V = \sqrt{\left(\dot{x}_0 - \frac{E_2}{B} \right)^2 + \left(\dot{y}_0 + \frac{E_1}{B} \right)^2} \quad (47)$$

o seu argumento α

$$\tan \alpha = \frac{B \dot{y}_0 + E_1}{B \dot{x}_0 + E_2} \quad (48)$$

para \dot{u}

$$\dot{u} = V e^{-i(\omega t - \alpha)} - i \frac{\mathcal{E}}{B} \quad (49)$$

Desta forma, chega-se ao sistema

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cos(\omega t - \alpha) + \frac{E_2}{B} \\ \dot{y} = -V \sin(\omega t - \alpha) - \frac{E_1}{B} \end{cases} \quad (50)$$

Assim, chega-se na equação

$$\begin{cases} x = \frac{V}{\omega} \sin(\omega t - \alpha) + \left[x_0 + \frac{\dot{y}_0}{\omega} + \frac{E_1}{\omega B} + \frac{E_2}{B} t \right] \\ y = \frac{V}{\omega} \cos(\omega t - \alpha) + \left[y_0 + \frac{\dot{x}_0}{\omega} + \frac{E_2}{\omega B} - \frac{E_1}{B} t \right] \\ z = z_0 + z_0 t + \frac{E_3}{B} t^2 \end{cases} \quad (51)$$

a finalidade, neste caso, é encontrar o raio descrito pela partícula em seu deslocamento dentro do campo eletromagnético, assim

$$\frac{V}{\omega} = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\dot{x}_0 - \frac{E_2}{B} \right)^2 + \left(\dot{y}_0 - \frac{E_1}{B} \right)^2} \quad (52)$$

Ora, na equação (20), o R depende das velocidades iniciais e da frequência de cíclotron, a partícula descreve um movimento retilíneo uniforme no eixo z . Na equação (52), percebe-se claramente que a partícula se move em torno de uma circunferência cujo centro se desloca.

Assim, na equação (53), ao ser introduzido um distúrbio na órbita da partícula inserida num campo magnético uniforme, e, considerando a força de Lorentz $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, a força média de rotação, $F_x = 0$, depende tanto do tempo em movimento para cima quanto para baixo. Os campos elétricos e magnéticos não são afetados pelas cargas das partículas [13, 12].

$$F_y = -qv_x B_z(y) = -qv_{\perp} \cos(\omega t) \left[B_0 \pm \cos(\omega t) \frac{\partial B}{\partial y} \right] \quad (53)$$

Nota-se também na equação (54), inserido na equação (53), que o campo magnético foi expandido em torno de $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$.

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + (\mathbf{r} \cdot \nabla) \mathbf{B} + \dots \quad (54)$$

$$B_z = B_0 + y \left(\frac{\partial B}{\partial y} \right) + \dots \quad (55)$$

A expansão requer que r_L seja muito maior que 1, onde L é o comprimento do raio. O primeiro termo da equação (53) é o ponto médio de uma rotação, assim, chega-se a:

$$\bar{F}_z = \mp q v_{\perp} r \frac{1}{2} \left(\frac{\partial B}{\partial y} \right) \quad (56)$$

logo, a velocidade de deriva do centro de giração é:

$$\mathbf{v}_{cg} = \frac{1}{q} \frac{\mathbf{F} \times \mathbf{B}}{B^2} = \frac{1}{q} \frac{\bar{F}_y}{B} \hat{\mathbf{x}} = \frac{v_{\perp} r}{B} \frac{1}{2} \frac{\partial B}{\partial y} \hat{\mathbf{x}} \quad (57)$$

Arbitrando-se o eixo y , a velocidade de deriva do eixo de giração pode ser generalizada para:

$$v_{\nabla B} = \pm \frac{1}{2} v_{\perp} r \frac{\mathbf{B} \times \nabla B}{B^2} \quad (58)$$

Ao assumir que as linhas de força são curvadas, e o raio de curvatura é constante e dado por R_c , sendo $|B|$ constante. Tais campos não obedecem a às equações de Maxwell no vácuo [13].

Na prática, a deriva (*gradiente*– B) será sempre adicionada para o efeito derivado. Um desvio do centro de orientação decorre da força centrífuga sentida pelas partículas, estas se movem ao longo das linhas do campo em seu movimento térmico [12].

Na equação (59), nota-se que a média do quadrado da componente de velocidade é aleatória [13] junto ao *campo* – B , e a força centrífuga média é:

$$\mathbf{F}_{cf} = \frac{m v_{\parallel}^2}{R_c} \hat{\mathbf{r}} = m v_{\parallel}^2 \frac{\mathbf{R}_c}{R_c^2} \quad (59)$$

Desta forma, ao derivar chega-se em:

$$\mathbf{v}_R = \frac{1}{q} \frac{\mathbf{F}_{cf} \times \mathbf{B}}{B^2} = \frac{mv_{\parallel}^2}{qB^2} \frac{\mathbf{R}_c \times \mathbf{B}}{R_c^2} \quad (60)$$

Para calcular o desvio do *gradiente* – B quando a redução de $|B|$ com o raio de giração é levado em conta, no vácuo, temos $\nabla \times \mathbf{B} = 0$.

Em coordenadas cilíndricas $\nabla \times \mathbf{B}$ tem apenas a componente z , uma vez que \mathbf{B} tem a componente θ , e $\nabla \mathbf{B}$ e, somente um componente r , assim:

$$(\nabla \times \mathbf{B})_z = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rB_{\theta}) \quad (61)$$

logo

$$B \propto \frac{1}{R_c} \implies \frac{\nabla B}{B} = -\frac{\mathbf{R}_c}{R_c^2} \quad (62)$$

assim

$$\mathbf{v}_{\nabla B} = \mp \frac{1}{2} \frac{v_{\perp} r}{B^2} \mathbf{B} \times B \frac{\mathbf{R}_c}{R^2} = \pm \frac{1}{2} \frac{v_{\perp}^2}{\omega} \frac{\mathbf{R}_c \times \mathbf{B}}{R_c^2 B} = \frac{1}{2} \frac{m}{q} v_{\perp}^2 \frac{\mathbf{R}_c \times \mathbf{B}}{R_c^2 B} \quad (63)$$

chega-se que o desvio total do campo curvo no vácuo é:

$$\mathbf{v}_R + \mathbf{v}_{\nabla B} = \frac{m}{q} \frac{\mathbf{R}_c \times \mathbf{B}}{R_c^2 B^2} \left(v_{\parallel}^2 + \frac{1}{2} v_{\perp}^2 \right) \quad (64)$$

Considerando um campo magnético apontado na *direção* z e cuja magnitude varia na *direção* z . Sendo um campo assimétrico, com $B_{\theta} = 0$, e, considerando que um campo $\mathbf{B} = B\hat{z}$, cuja magnitude varia ao longo de z . É o campo \mathbf{B} com simetria axial $B_{\theta} = 0$. Uma vez que as linhas de campo convergem e divergem, existe então necessariamente uma componente B_r . Ora, ocorre uma força que aprisiona a partícula no campo magnético. Isso mostra a origem de uma “força armadilha” (Força de confinamento) que a mantém

confinada [13, 12]. Assim, da Lei de Maxwell:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (65)$$

A variação de $|B|$ causa um desvio do *gradiente* B .

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rB_r) + \frac{\partial B}{\partial z} = 0 \quad (66)$$

Supondo:

$$\frac{\partial(B_z)}{\partial z}$$

em que $r=0$ e que varia pouco com r , assim:

$$rB_r = - \int_0^r r \frac{\partial B_z}{\partial r} dz \approx - \frac{1}{2} r^2 \frac{\partial B}{\partial z} \Big|_0 \quad (67)$$

chega-se a

$$B_r = - \frac{1}{2} r \frac{\partial B}{\partial z} \Big|_0 \quad (68)$$

cuja força resultante é:

$$F_z = \frac{1}{2} qv_{\theta} r \left(\frac{\partial B_z}{\partial z} \right) \quad (69)$$

desta forma, o resultado é

$$\bar{F}_z = \mp \frac{1}{2} qv_{\perp} r \frac{\partial B_z}{\partial z} = - \frac{1}{2} \frac{mv_{\perp}^2}{B} \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad (70)$$

O momento magnético de giro da partícula é dado por:

$$-\mu = \frac{I}{2} \oint_C \mathbf{r} \times d\mathbf{r} = \frac{1}{2} \frac{mv_{\perp}^2}{B} \quad (71)$$

e o μ é invariante:

$$\bar{F}_z = -\mu \frac{\partial B_z}{\partial z} \quad (72)$$

Assim, o momento magnético é antiparalelo ao campo \mathbf{B} , e as partículas carregadas têm natureza diamagnética conforme a equação 73. Como o Campo Geomagnético converge para os pólos. Em função das linhas de força convergirem, existe um gradiente dessas linhas, a força sobre uma partícula diamagnética [12], que em geral pode ser escrito como:

$$\mathbf{F}_{\parallel} = -\mu \frac{\partial B}{\partial s} = -\mu \nabla_{\parallel} B \quad (73)$$

A partícula se move em regiões onde o campo magnético pode ser mais forte ou mais fraco, o seu “raio de Larmor” assim varia

$$m \frac{dv_{\parallel}}{dt} = -\mu \frac{\partial B}{\partial s} \quad (74)$$

desta forma,

$$mv_{\parallel} \frac{dv_{\parallel}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} mv^2 \right) = -\mu \frac{\partial B}{\partial s} \frac{ds}{dt} = -\mu \frac{dB}{dt} \quad (75)$$

e

$$dE + dV = 0 \quad (76)$$

Logo, a energia da partícula é conservada

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} mv_{\parallel}^2 + \frac{1}{2} mv_{\perp}^2 \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} mv_{\parallel}^2 + \mu B \right) = 0 \quad (77)$$

$$-\mu \frac{dB}{dt} + \frac{d}{dt}(\mu B) = 0 \quad (78)$$

$$\frac{d\mu}{dt} = 0 \quad (79)$$

A invariância do momento magnético, é a base para o confinamento do plasma e espelho magnético. Ou seja, as partículas carregadas “sentem” o campo. Como existe um movimento de partículas de uma região onde o campo é fraco, para a região onde o campo é forte, ao longo da região onde há movimento térmico, as partículas “sentindo” o campo B, têm a sua velocidade aumentada perpendicularmente, mantendo assim o momento magnético constante [13]. A energia total deve ser constante, e, se necessário, ocorre a redução da componente de velocidade paralela para compensar, ou manter a invariância. Considerando que o momento magnético e a energia não variam, isto é, se conservam, facilmente pode ser determinado o ponto de reflexão. Se o campo magnético é suficientemente alto na região mais estreita do espelho magnético, a componente paralela da velocidade total, é composta por duas componentes, a paralela (\parallel) e a perpendicular (\perp), eventualmente esta se torna zero, e a partícula é refletida de volta para a região de campo fraco [13].

Naturalmente, a força paralela provoca a reflexão e é semelhante ao campo não uniforme de um par de bobinas. Este forma dois espelhos magnéticos, entre os quais o plasma pode ser enclausurado. Este efeito é válido tanto para íons quanto para elétrons.[12].

$$\frac{1}{2} \frac{mv_{0\perp}^2}{B_0} = \frac{1}{2} \frac{mv_{0\perp}'^2}{B_0'} \quad (80)$$

A conservação de energia requer

$$v_{\perp}'^2 = v_{0\perp}^2 + v_{0\parallel}^2 \equiv v_0^2 \quad (81)$$

passo do gradiente é paralelo ao campo. Este passo é entre o vetor campo magnético e o vetor velocidade. Da figura 6, e da equação (83) é observado claramente que o movimento da partícula carregada, tem um raio de giro e um centro de giração sobre o eixo z [12]. Este é dado pela equação (74). Num campo contendo pequenos gradientes, estando a partícula carregada em movimento imersa em si, considerando uma componente paralela e outra normal ao campo, a energia da partícula é conservada [13] conforme a equação (77).

O momento magnético de giro da partícula dado por μ é antiparalelo ao campo \mathbf{B} , e, à velocidade v_{\parallel} , que possuindo o mesmo sentido do campo magnético é positiva. Nota-se assim uma reflexão quando as partículas carregadas nas regiões onde a intensidade do campo é muito forte. Se for considerado que não variam nem a energia da partícula, nem o momento do campo magnético, pode, desta forma ser encontrado o ponto de reflexão da partícula. A energia cinética no ponto v é convertida em energia de giração no ponto de espelhamento, assim, a força do gradiente positivo repele a partícula do ponto de espelhamento para a região onde o campo não é tão forte. O campo, possuindo um gradiente normal ao plano de giro da partícula, além do gradiente paralelo, não sendo uniforme através da órbita de giração, tem o centro deslocado pela componente de velocidade por causa da componente do gradiente do campo [12].

Também existe uma dependência da carga da partícula (Polarização) se a velocidade de deslocamento é muito menor que a velocidade de giro (v_{\perp}), ocorrendo assim, uma perturbação do movimento total da partícula quando a condição adiabática é satisfeita pela interação com o campo magnético da partícula. Assim ocorre o deslocamento da partícula carregada dentro do campo magnético uniforme e constante, e, com a força magnética sobre si confinando-a em movimento circular.

Ao longo do vetor do campo magnético, para partícula positiva, seu giro é anti-horário, se negativa, o giro é horário. O deslocamento é facilmente percebido na figura 7 em que o movimento da partícula se dá em um campo onde o gradiente é normal.

Na figura 7, se observa que partícula tem componente paralela ao gradiente do campo magnético de um giro em torno de uma linha de força. A velocidade é dada por $v_{\perp} = v\sqrt{1 - \frac{B}{B_m}}$, o seu centro de giração deslocado ao longo da linha de força tem velocidade dada por $v_{\parallel} = v\sqrt{1 - \frac{B}{B_m}}$.

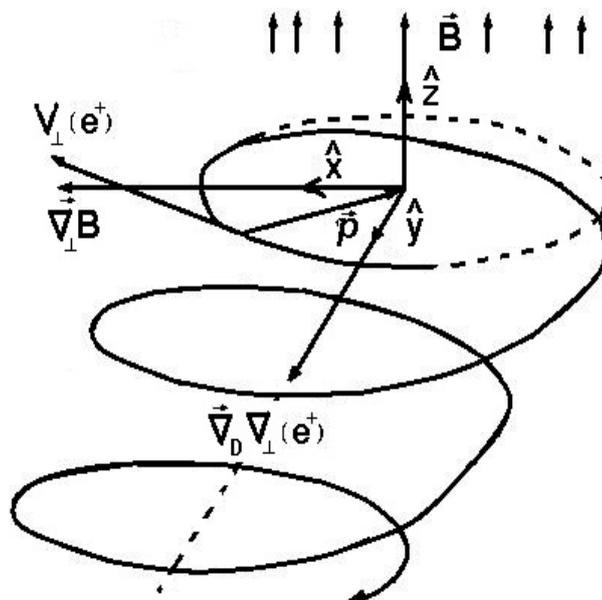


Figura 7: Movimento da partícula em campo onde o gradiente é normal. (Fonte: COUTINHO, E.F. 1972)

Pelo fato do campo magnético da Terra convergir aos pólos, figura 8, a partícula será refletida numa latitude λ_m , se os campos $B = B_m$, ela retornará, e se direcionará ao hemisfério oposto, e, pelo mesmo mecanismo, retornará ao anterior, e assim por diante num sistema oscilatório ao longo das linhas de força, ficando assim encerrada no campo magnético da Terra.

Uma vez que o gradiente também possui uma componente perpendicular, a partícula, ao girar, sofre um deslocamento longitudinal, com uma velocidade $v_D \Delta_{\perp}$. Esta se soma a um deslocamento longitudinal, que é produzido pela força centrípeta causada pela curvatura do campo magnético do planeta [13]. Ocorre um deslocamento longitudinal, com uma velocidade v_D , em que a direção dependerá da carga da partícula. Caso seja negativa (Elétrons e íons negativos - ânions), seu deslocamento será de oeste para leste, no caso de íons positivos (Cátions), as partículas se deslocarão sentido oposto [12].

Quando uma partícula é aprisionada no campo geomagnético, ela gira e se desloca nas linhas de força, o centro de giração tem um deslocamento em latitude e longitude, formando uma superfície em torno do planeta em forma de escudo.

Os elétrons e prótons provindos do Sol, ou das interações dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre, acabam formando escudos, conforme descrito anteriormente,

e estes se dispõem em forma de 2 “camadas” ao redor da Terra, estas são chamadas de “cinturões de radiação de Van Allen” [12].

Os astronautas, quando transitavam em regiões de alta densidade de partículas, enxergavam pequenos pontos brilhantes, estes foram notados pela primeira vez por quatro membros da tripulação do Skylab entre 16 de novembro de 1973 e 8 de fevereiro de 1974. O fenômeno ocorreu quando o laboratório espacial (SKYLAB) transitou na região da AMAS [19].

Segundo estudos feitos pela NASA, a radiação parecia consistir de somente de íons positivos. Os cientistas descobriram que os flashes foram estimulados no interior do olho, na retina por partículas de alta energia. Os fenômenos foram observados nas regiões dos pólos magnéticos e da AMAS [19]. Na figura 8 se observa que o campo magnético da Terra converge aos pólos, desta forma, devido a esta convergência há o gradiente [12].

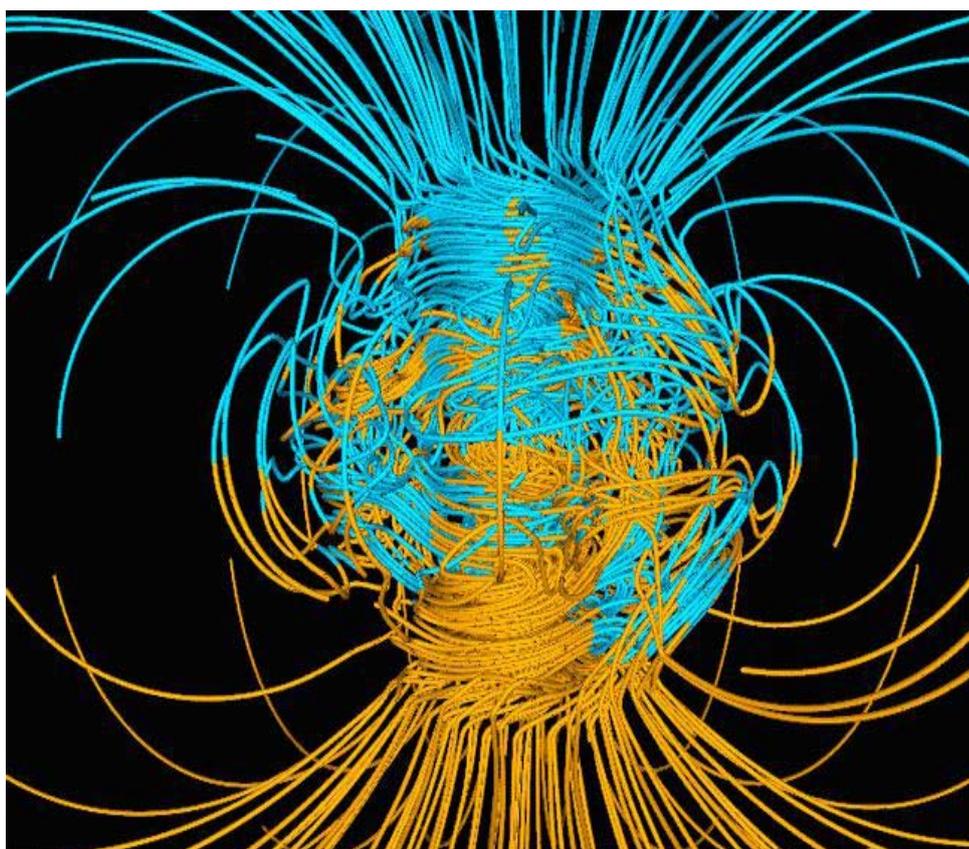


Figura 8: Convergência do campo magnético da Terra nos pólos. (Fonte: Gary Glatzmaier - Los Alamos National Laboratory)

2.9 CAMADAS IÔNICAS E SUA DINÂMICA

A Atmosfera da Terra pode ser por classificada quanto a densidade dos gases, temperatura, composição, densidade de ionização, etc.

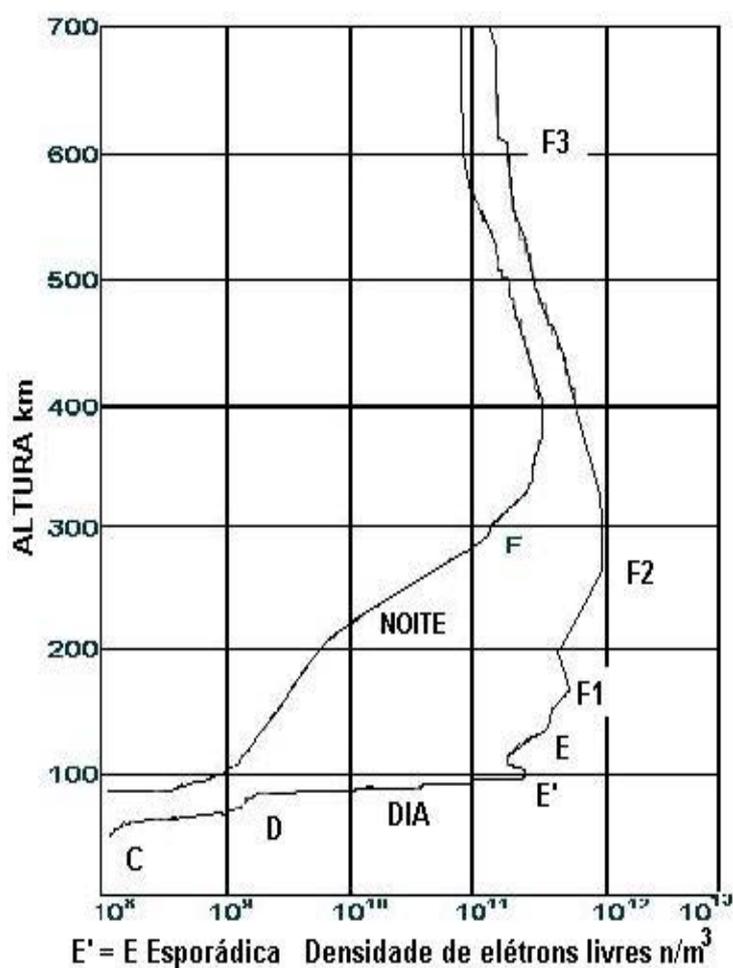


Figura 9: Regiões ou camadas da Ionosfera da Terra. Durante o dia de baixo para cima: C, D, E e F. Durante a noite somente a região F permanece. Esporadicamente ocorre a camada “E Esporádica”. (Fonte: Angeloleithold Wikipedia, Dez. 2004)

A figura 9 mostra a ionosfera da Terra e suas diferentes regiões, de acordo com a altitude. A variação da densidade de ionização de baixo para cima é dividida por regiões denominadas C, D, E e F. A camada ou região C está situada a partir de 50 km a 80 km

acima do solo, é composta de íons positivos, negativos e elétrons. A Ionosfera é influenciada pelos raios cósmicos e caracterizada pela baixa perda de elétrons por fenômenos de transporte. Sua detecção foi inicialmente a partir de medições de densidade eletrônica realizadas por foguetes e por sondagem em VLF [12]. Outra característica é a absorção de ondas de rádio. Acima da camada C, existe outra região conhecida por camada D. Se localiza em altitudes a partir de 60 km e 90 km. Em função de sua altitude, se sobrepõe algumas vezes à camada C, isso dificulta a identificação de ambas. Na região, a atenuação de RF, é causada pela alta densidade de elétrons-livres gerada pela radiação solar [19]. Processo semelhante ao que ocorre com a camada C, que é pronunciada durante o dia. À noite, a ionização cessa, e conseqüentemente a atenuação também. A região E /“E esporádica”, localiza-se acima da camada D e embaixo da F, a altitude média é entre 80 e 100 até 140 km. Semelhante à camada D, se forma e se mantém durante o dia, à noite se dissipa.

Em algumas ocasiões, dependendo das condições de vento solar e energia absorvida durante o dia, a camada E pode permanecer esporadicamente à noite, quando isto ocorre é chamada de camada E Esporádica. Esta tem a particularidade de ficar mais ativa quanto mais perpendiculares são os raios solares. [1, 19]. A região F, durante o dia se divide em duas camadas, F1 e F2 (Figura 9). Em certas épocas do ano e próximo ao equador terrestre surge uma camada F3. A camada F1 está acima da camada E, e abaixo da camada F2, entre 100 km a 140 km até aproximadamente 200 Km. A camada F2 está entre os 200 e 400 km de altitude. É o principal meio de reflexão das ondas de rádios que dependem da ionosfera para se propagar. Na região F, a camada F3, quando se forma, está numa altitude aproximada de 500 km a 700 km, ocorre geralmente ao amanhecer a aproximadamente 170° de latitude, aparece ao Norte e ao Sul do Equador Magnético.

Para elementos que compõe a atmosfera, à exceção do hidrogênio, ocorre um acréscimo da densidade em grandes altitudes. Estudos apontam que na região onde se encontram os prótons aprisionados pelo campo geomagnético ocorrem variações importantes da densidade atmosférica em altas altitudes [12, 19].

É perfeitamente conhecido que o fluxo de partículas muda de comportamento conforme se altera o ciclo de atividade solar. Ao descrever o fenômeno do movimento oscilatório e o deslocamento longitudinal, a combinação dos dois movimentos obriga as partículas formar uma espécie de “nuvem”. Esta se desloca em grandes altitudes, e, em

duas alturas diferentes (Cinturões de Van Allen, o externo e o interno). A parte inferior, portanto mais interna, no Hemisfério Sul, está muito próxima da superfície da Terra, cerca de 50 km, dentro das camadas C e D da Ionosfera. Isto insere uma grande quantidade de partículas, aumentando a probabilidade de choques entre aquelas partículas com as moléculas que compõe a atmosfera, assim, ocorre um grande aumento de energia cinética na região de interação. [12].

Coutinho, em 1972 [12] descreveu que no ano de 1963, McIlwain e Van Allen observaram um aumento de intensidade do fluxo de prótons perto da época do mínimo solar. O fenômeno ocorreu porque o aumento do fluxo de prótons, a baixas altitudes foi incrementado pela injeção de prótons oriundos das interações de nêutrons com raios cósmicos oriundos do espaço profundo. Foram constatadas correntes de prótons com energias de 65 MeV para altitudes entre 200 e 500 km na região da AMAS [12, 18].

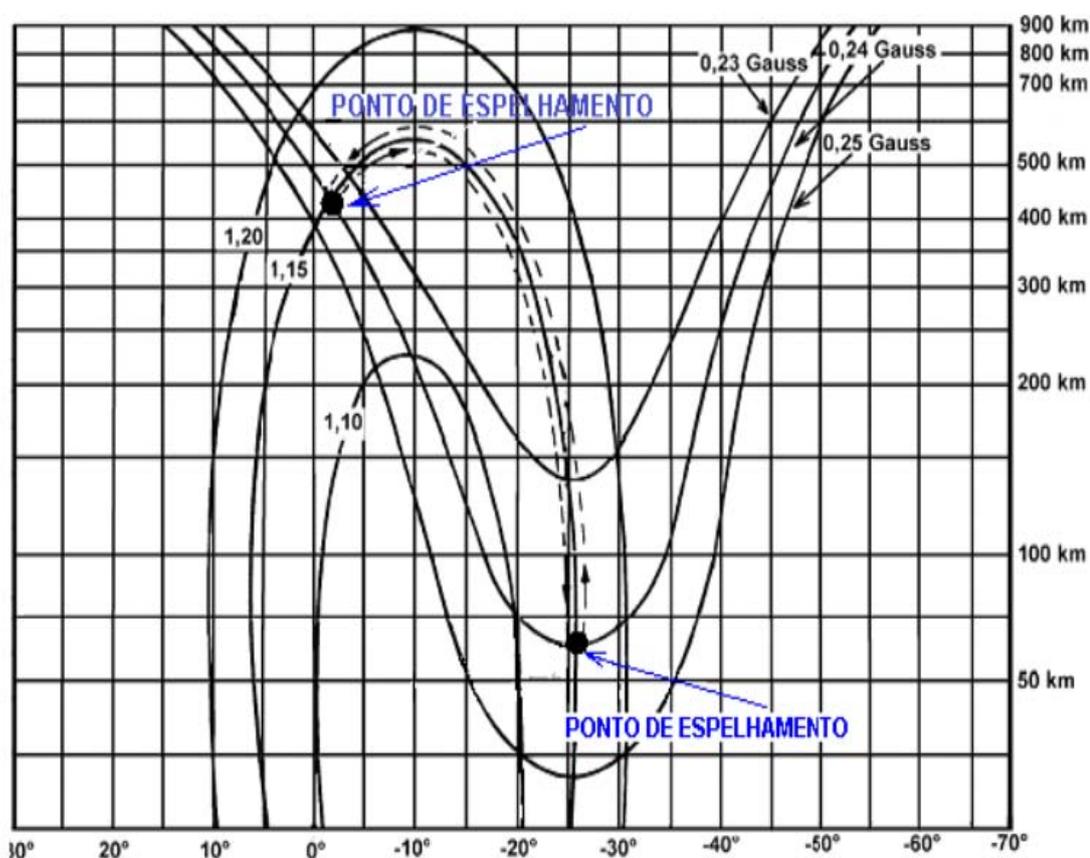


Figura 10: Espelhamento de partícula entre hemisférios. Entre 20° e 30° Latitude Sul é a região de menor intensidade de campo magnético, e menor altitude. (Fonte Modificada COUTINHO, E.F.; 1972)

A figura 10 mostra a dinâmica das partículas aprisionadas pelo campo geomagnético, que se espelham em certas regiões onde as alturas são determinadas por valores fixos de B e latitude L . Por causa do campo ocorre uma oscilação entre os pontos de espelhamentos situados nos hemisférios Norte e Sul. Na figura Figura 10 se observa que a parte mais baixa de espelhamento é justamente o epicentro da AMAS, que se localiza entre 20° e 30° na Latitude Sul. A anomalia se desloca longitudinalmente, a conformação das regiões é paralela à superfície da Terra.

Uma vez que na região o campo magnético tem valores muito abaixo do esperado, comparativamente com as mesmas coordenadas, porém no Hemisfério Norte. As flutuações em velocidade, energia, polaridade, direção e densidade do vento solar, afetam o ambiente espacial local da Terra [12].

O Hemisfério Norte é mais protegido do vento solar pela magnetosfera do que o Hemisfério Sul (Sobre a AMAS), pois, quanto mais altos os valores de campo magnético, menos partículas.

Na medida que oscila em intensidade e altitude a magnetosfera terrestre, por influência da atividade solar, os níveis de energia das partículas presas oscila, e sua densidade nos cinturões de Van Allen também, logo, na região do “mergulho” da anomalia, aumenta substancialmente a quantidade de partículas que entram em choque com a alta atmosfera, promovendo assim, grandes flutuações de energia cinética.

As trocas de energia quando ocorrem em menores altitudes, geram ruídos nos mais diversos comprimentos de ondas, percebidos facilmente e que são observados a partir de receptores de rádio [5, 14]. Portanto, supostamente, é possível um monitoramento da região observando o ruído branco de fundo (Cachoeira).

Na região da AMAS o campo magnético é muito fraco e os pontos de espelhamento se dão em baixas altitudes. Isto propicia possíveis ruídos em HF (Em Alta Frequência) ocasionados pela interação das partículas provindas de regiões mais acima e da alta atmosfera. Na figura 11, se observa os diferentes níveis de campo magnético. Nota-se que o baixo campo abrange grande parte do território brasileiro (Comparar com a figura 2).

Observar que o campo é muito menor sobre as regiões Sul, oeste da região Sudeste, e sul da região Centro-Oeste. O epicentro está localizado na região que abrange o Paraguai, Argentina, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Uruguai. A região demarcada em azul mostra as regiões de descargas elétricas

observadas no presente trabalho (2009-2010), conforme será demonstrado.

Na figura 10 se observa a região aproximada onde as partículas aprisionadas estão em menor altitude e ocorre seu espelhamento magnético. A linha tracejada mostra os locais de espelhamento, no Hemisfério Norte, se dá em aproximadamente 500 km de altitude. No Hemisfério Sul, nota-se a AMAS bem mais próxima à superfície. Ao verificar o fenômeno do movimento oscilatório e o deslocamento longitudinal, a combinação dos dois movimentos obriga as partículas a formar a nuvem energética que se desloca em grandes altitudes.

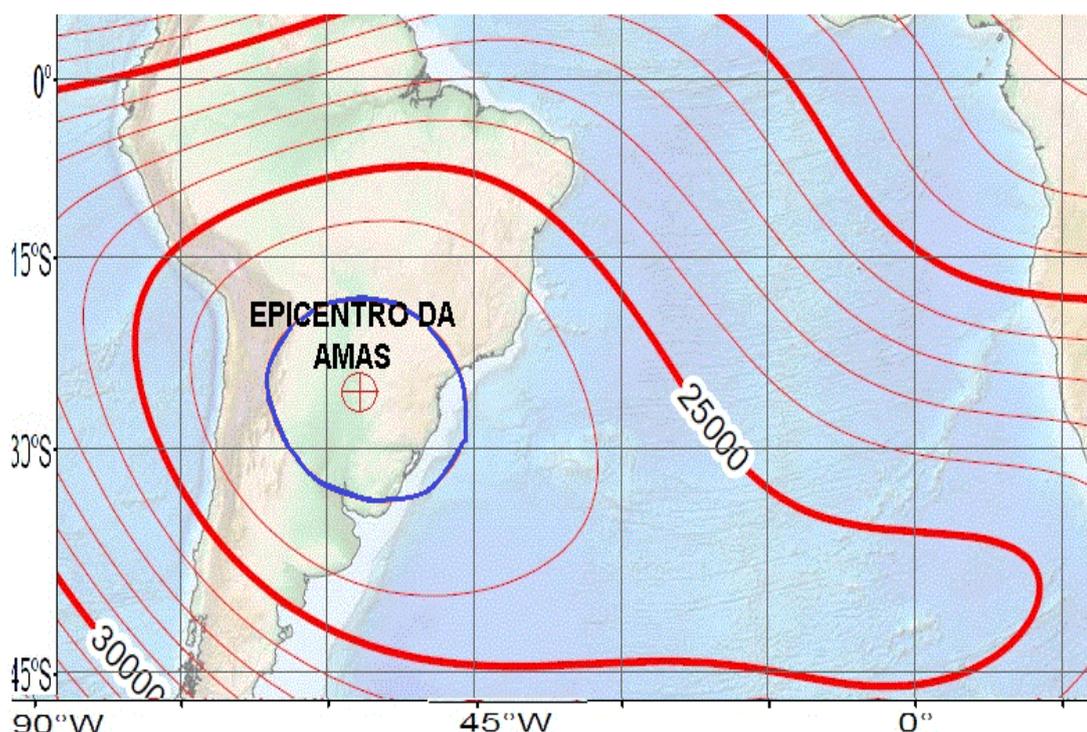


Figura 11: Intensidade de campo magnético na região da AMAS dada em nT. A marcação em azul, entre as Latitudes aproximadas de 16° e 32° Sul, indica a região de menor campo magnético. O círculo vermelho com marcação de centro, indica a região aproximada de reflexão de partículas. (Fonte: Modificada NGDC NOAA 2010)

A figura 11 mostra que a parte inferior do Cinturão de Van Allen mais interno, no Hemisfério Sul, está muito próxima da superfície da Terra, cerca de 50 km (Círculo azul). O Cinturão interno está literalmente dentro das camadas C e D da Ionosfera, (acima da Troposfera). Por si só, há grande inserção de partículas no topo da Atmosfera, ionizando

ainda mais a região. As camadas C e D são absorvedoras de radiofrequência na faixa que abrange de 1,6 MHz até 30 Mhz (HF).

Quando ocorre forte ionização causada pelas partículas incidentes, e, somada à fotoionização, aumenta a absorção de RF quando as partículas chegam muito próximas à altitude de 50 km, aumenta o “chiado” de cachoeira.

Durante o dia, em condições normais de vento solar, ocorre moderada fotoionização e ionização corpuscular. Mas, quando a atividade solar “sopra” o cinturão para abaixo dos 25 km, chegando, inclusive aos 15 km de altitude, aumenta substancialmente a probabilidade de choques entre partículas e moléculas atmosféricas, há grande incremento de transferência de energia cinética. Ou seja, ocorre transferência de energia devido à colisão entre as partículas energéticas e a alta atmosfera. Isto na região que abrange a Tropausa e Troposfera.

A Troposfera contém 99% do vapor de água e aerossóis e 75% de toda a massa atmosférica. Sua espessura é em torno de 12 km em latitudes médias, mas, nos trópicos, a altitude de seu topo chega a 17 km. Durante a noite, uma vez que luz solar não participa do processo, a ionização corpuscular é fortemente percebida na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. As partículas energéticas provêm em grande parte dos Cinturões de Van Allen, mas podem vir também de outras regiões do espaço além da Magnetosfera, carregando assim o topo da Troposfera.

2.10 O EVENTO DE 4 DE AGOSTO DE 1972

Coutinho analisou o espelhamento de uma partícula em 1972 (figuras 6, 7, 10), percebe-se que para uma partícula estar no nível $L=1,15$ e tenha o seu ponto de espelhamento $B_m= 0,24$ Gauss no Hemisfério Norte (figura 10, os valores serão encontrados a cerca de 400 km do solo.

Na região da AMAS, a partícula será encontrada entre 50 e 100 km de altitude, o que aumenta consideravelmente a probabilidade de choque com elementos constituintes da atmosfera, conseqüentemente, poderá ocorrer a sua precipitação.

Dependendo das condições de vento solar, a altitude do mergulho da AMAS pode se reduzir drasticamente. Quando isso ocorre, a energia cinética é transferida para o meio

ambiente, assim, aumenta substancialmente a ionização e a possibilidade real de contacto, colisão ou atrito com elementos constituintes do topo da Troposfera. esta energia adicional poderia ser um dos elementos constituintes do aumento de eletricidade atmosférica naquela altitude.

Quando ocorrem tempestades geomagnéticas, o valor do campo geomagnético diminui muito, portanto aumenta o número de partículas energéticas, estas ao se precipitar na atmosfera, geram forte eletrização. Tal fenômeno foi registrado quando ocorreu uma grande tempestade magnética nos dias 4 e 5 de agosto de 1972 [12].

A ionização na baixa ionosfera na região da AMAS, devido à precipitação de partículas durante a tempestade, aumentou significativamente. Isso ocorreu porque chegou à Terra grande quantidade de Massa Coronal Ejetada (CME) oriunda de explosões solares. Os elétrons e íons na região da AMAS, provocaram alterações extremas nas camadas D e E (A camada C não era levada em conta naquela época) da ionosfera. Assim, ocorreu forte precipitação de partículas na região e fechamento total de propagação das ondas de rádio por absorção pela camada D.

De acordo com as pesquisas de Coutinho, comprovadas experimentalmente pelo grupo de Rádio-Ciência do IAE (atual Instituto de Aeronáutica e Espaço) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA), em convênio com Air Force Cambridge Research Laboratories, nas décadas de setenta e oitenta (Ver tabelas 1 e 2 no Apêndice 1) “...Ficou evidenciada a notável influência da AMAS na precipitação de partículas presas e na física da baixa ionosfera e alta atmosfera” [12]. A NASA e a “Agência Espacial das Repúblicas Socialistas Soviéticas”, atual Agência Espacial Russa, na década de sessenta, traçaram um modelo inicial da Anomalia Magnética do Atlântico Sul e os fenômenos causados por ela, inclusive alterações significativas de ionizações causadas pelas partículas presas nos Cinturões de Van Allen. Cujos dados atuais, coletados por satélites e pesquisas mais modernas e elaboradas, vêm a acrescentar de forma importante o que havia sido iniciado pelos cientistas da época (Anexo 1 Figuras - 44 e 45).

2.11 RADIOCIÊNCIA

Na década de setenta, Coutinho passou a fazer experimentos no Laboratório de Radiociência no Campus de Pesquisas Geofísicas do Instituto de Atividades Espaciais (IAE), no município de Paula Freitas, Paraná, atual Campus de Pesquisas Geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho do Instituto de Aeronáutica e Espaço. A Radiociência procura relacionar os mais diversos efeitos associados à Magnetosfera, Ionosfera e Atmosfera. Dentre estes, fenômenos que ocorrem na região Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Alguns exemplos podem ser citados, dentre estes: alterações da eletricidade atmosférica, variações das taxas de ionização ambiental, mudanças repentinas de propagação de radiofrequência, dentre outros. Conforme já discutido, especificamente, quando ocorre a forte ionização, fenômenos de absorção, recombinação, dentre outros podem gerar ruídos diversos na região da AMAS. Estes ruídos podem se propagar a grandes distâncias semelhantes às emissões de rádio. As regiões E e F são refletoras de HF, (As inferiores, C e D absorvedoras) [15]. A absorção dificulta a propagação das ondas de rádio tanto na ionosfera quanto na guia de onda formada nesta. Ocorre assim uma das modalidades de um fenômeno chamado “fechamento de propagação de rádio”. Se a RF emitida está em condições de propagação, o sinal pode viajar por milhares de quilômetros. Quando ocorrem tempestades com relâmpagos, as centelhas geram ruídos nos mais diversos comprimentos de ondas, estes ruídos propagam a grandes distâncias. Sabendo a localização de descargas atmosféricas ou de emissoras de Ondas Curtas, é possível mapear o comportamento iônico.

Quando ocorrem fortes distúrbios solares, as correntes iônicas sofrem fortes variações, estas geram espelhamentos na superfície terrestre. Estudar as correlações entre a atividade solar e distúrbios geomagnéticos, iônicos, atmosféricos, dentre outros, é estratégico para Telecomunicações, GPS, transmissão de energia, corrosão de tubulações metálicas enterradas, etc. Este assunto é levado muito a sério nos países do Hemisfério Norte. Segundo Pinto e outros, num trabalho intitulado “Um novo olhar sobre a segurança de sistemas elétricos”, de 100 ocorrências na operação brasileira sorteadas ao acaso entre

2002 e 2005, o fenômeno geomagnético esteve presente em 96% dos casos [20]. Os distúrbios que alteram significativamente a propagação de RF em frequências diversas, são estudados desde 1920. Também é sabido, e já descrito no presente estudo, a Ionosfera é a parte da atmosfera que possibilita a base para as explorações por ondas de rádio, e, Hertz, à partir de Maxwell em 1860, comprovou a propagação de ondas eletromagnéticas no espaço. As ondas HF, mais conhecidas como “ondas curtas” têm alcance determinado principalmente pela propagação ionosférica. Por isso são utilizadas em comunicações telefônicas ou telegráficas, conexões a longas distâncias entre navios, aviões e outros sistemas de menor importância, que não exijam grandes larguras de faixa para a transmissão da informação [22].

Na figura 12 está esquematizado um sistema irradiante-receptor, composto por uma antena de quadro vertical, esta conectada a um transceptor, aquele, opera na faixa de 7,0 MHz (Embora possa ser operado em qualquer frequência de 500 kHz à 50 MHz).

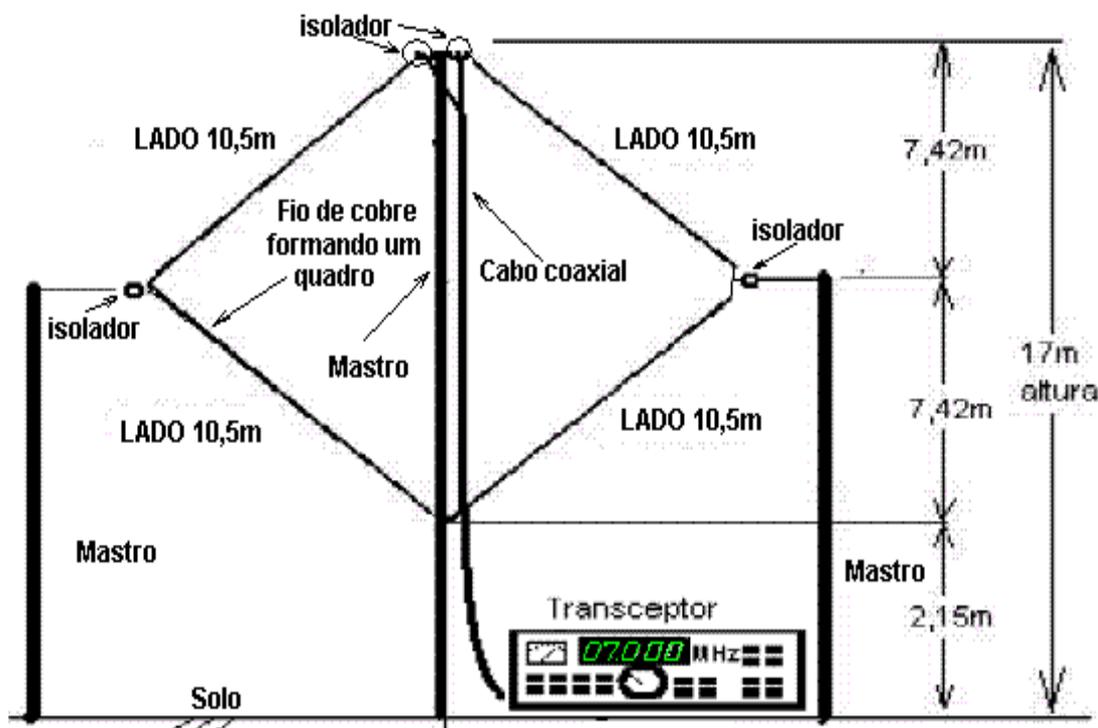


Figura 12: Antena e transceptor. Laboratório de radiociência montado na residência do autor equipamentos próprios. Latitude: 25°30'52"S, Longitude:49°14'44"W. (Fonte: Leithold, A.A. 2007)

Ao emitir sinais com potência baixa, cerca de 1,0 W, estes são captados a médias e longas distâncias via ionosfera, dependendo da propagação. Com transmissão fixa em potência e frequência, o sinal pode oscilar ou não. Quando as condições iônicas mudam rapidamente, fortes flutuações de amplitude e intensidade são percebidas. A forte ionização em E e F, favorece a reflexão. Ocorrendo forte ionização em C e D, os sinais são absorvidos. A taxa de variação dos sinais recebidos indica se as condições iônicas favorecem ou não a transmissão e recepção. A ionização nas camadas altas é dependente do Sol, os raios cósmicos de altas energias têm maior importância nas camadas inferiores.

Ao pôr do Sol, os elétrons livres na alta atmosfera geram um fenômeno chamado recombinação. Estes apresentam movimentos de deriva para Leste, se provindos de altitudes acima da ionosfera, devem precipitar-se na região da AMAS no seu contorno Oeste-Sul. Em certa altitude, aumentam as probabilidades de colisões. Quando aumenta a atividade solar ocorrem incrementos significativos de densidade iônica. Os processos de ionização e recombinação emitem radiofrequência na forma de ruídos, a rádio observação é uma ferramenta de baixo custo. Os fenômenos solares produzem fortes perturbações no clima espacial e terrestre.

A sociedade tecnológica é altamente susceptível a perdas advindas de eventos que abrangem desde tempestades solares até fenômenos atmosféricos. Na região da AMAS, a energia provinda do Sol durante os picos de atividade, pode causar perdas de comunicação, alteração de dados importantes à segurança de vôo, dentre outros. A presença de cargas de altas energias na alta atmosfera não pode ser negligenciada, pois é sabido que causa grandes mudanças iônicas ou mesmo altera a eletricidade atmosférica nos mais diversos níveis. A busca de ferramentas para detectar tais alterações, atualmente abrange uma série de frequências que até algum tempo atrás não eram consideradas válidas [21]. A observação através do rádio nas faixas de HF (3 a 30 MHz) tem se mostrado eficiente, por exemplo, na detecção da aproximação de tempestades com raios. O ruído de fundo ao ser observado e registrado pode fornecer importantes dados acerca das condições iônicas. Desta forma, embora ainda tímida, a pesquisa nesta região do espectro de radiofrequência poderá gerar importantes conhecimentos sobre o clima espacial e terrestre [22].

3 EXPERIMENTOS PROPOSTOS, MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção estão relatados os métodos e materiais utilizados nos experimentos e alguns dados colhidos. É dividida em três partes: 1) Preâmbulo, onde se faz um breve relato das experiências; 2) Monitoramento da Propagação de Rádio na Faixa de 7,00 MHz (40 metros) e 3) Monitoramento das Descargas Atmosféricas.

3.1 PREÂMBULO DOS EXPERIMENTOS, MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de ferramentas ou métodos que visam observar a propagação de rádio na faixa de HF, ao redor da frequência de 7,00 MHz, na faixa de comprimentos de ondas de quarenta metros. A frequência foi escolhida, devido a facilidade de confecção das antenas, cujo comprimento de cada monopolo é muito próximo de dez metros. O sistema e as antenas foram desenvolvidos durante os anos de 2007 e 2008. A intenção foi a captura de Distúrbios Súbitos da Ionosfera (Sudden Ionospheric Disturbance - SID) e fenômenos correlatos através do monitoramento em radiofrequência, comparado à endereços do INPE, da NASA e de espectrômetros disponibilizados pelo grupo SDR-BR de radioamadores, pelos senhores William Schauff, Edson Pereira e João Kolar De Marco. O acompanhamento das condições iônicas é bem conhecido na faixa de VLF, mas pouco utilizado na faixa de HF, provavelmente devida à alta poluição eletromagnética nesta região do espectro. A poluição no espectro de radiofrequência na faixa de HF é causada principalmente por estações de rádio comerciais e por radioamadores. Muitas vezes a descalibração dos equipamentos e o excesso de potência, acabam por interferir em outros serviços. Dentre os serviços, aqueles cuja finalidade é o monitoramento das condições atmosféricas e outros efeitos. O desenvolvimento de instrumentação e a observação em HF durante 24 horas por dia, foi necessário para capturar eventos solares. A busca foi basicamente voltada a fenômenos que poderiam ocasionar black-outs totais nas comunicações. O segundo objetivo, foi a aquisição de conhecimentos e dados da quantidade de descargas atmosféricas. Estas, na região central da AMAS, e fora desta, para verificar se realmente a quantidade de relâmpagos seria maior na região da anomalia. A preparação desta seção do presente trabalho foi iniciada em março de 2007. Após prontos os dispositivos e a parte teórica, em meados de 2008, a leitura propriamente dita foi iniciada em maio de 2009. Para tal, foram colhidas imagens disponibilizadas pelo

Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A intenção foi a busca de dados que relacionassem, ou não, se a atividade solar na região da AMAS poderia influir de forma clara na eletrificação atmosférica. Os dados quantitativos foram comparados através das figuras adquiridas, com a região de mergulho da AMAS, esta demarcada sobre as tais figuras a partir de dados históricos. Estes indicam a localização média do epicentro da anomalia magnética.

3.2 MONITORAMENTO DA PROPAGAÇÃO DE RÁDIO NA FAIXA DE 7,00 MHZ (40 m)

A presente seção trata do desenvolvimento das ferramentas e métodos que visam observar os Distúrbios Súbitos da Ionosfera (Sudden Ionospheric Disturbance - SID) e fenômenos correlatos através do monitoramento em radiofrequência.



Figura 13: Laboratório de radiociência durante os preparativos de radiomonitoramento (Fonte: Leithold, A. A.; 2008)

As observações foram comparadas com dados colhidos à partir dos endereços do INPE, da NASA e espectrômetros disponibilizados por um grupo de radioamadores chamado “grupo SDR-BR de radioamadores”. Coutinho, na década de setenta fez diver-

sos experimentos em VLF e HF. Já naquela época foi detectado que a faixa de HF é excelente para o estudo da Ionosfera. Inclusive, na conclusão de seu trabalho que trata das partículas presas na região da AMAS, ele sugere o estudo mais aprofundado nesta faixa de frequências [12]. O desenvolvimento de instrumentação e a observação em HF durante 24 horas por dia, foi necessário para capturar eventos solares, ionosféricos entre outros. A pesquisa, inicialmente foi voltada a fenômenos que poderiam ocasionar black-out's totais nas comunicações. Monitorando através da recepção de um espectrômetro conectado à WEB, conforme a figura 13 lado direito, as flutuações e condições de propagação entre Curitiba e Pardinho. No monitor se observa uma tênue linha vertical dentro da região marcada com uma elipse amarela na vertical. É mostrado também no display do transmissor a frequência emitida 7.069,999 kHz. A diferença de frequência vista é ocasionada por flutuações da rede Elétrica. Após alguns meses, no decorrer das pesquisas, foi observado um evento de fechamento repentino de propagação de rádio, possivelmente causado por um SID. Para tal foi utilizado o espectrômetro disponibilizado na internet por radioamadores, conforme mostrado na figura 14.

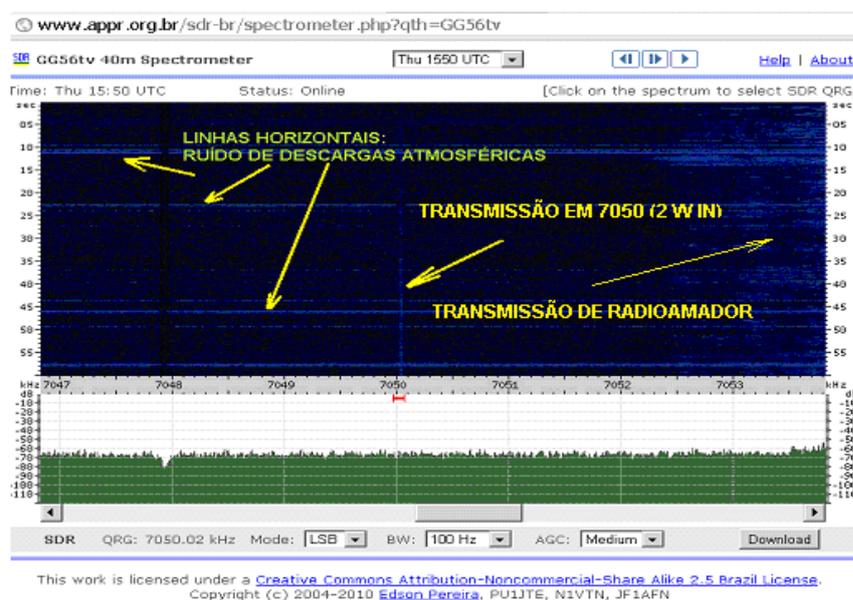


Figura 14: Espectrômetro de Pardinho durante os testes iniciais de transmissão e instalação do sistema irradiante. (Fonte modificada: Pereira, E.; 2008)

O software foi desenvolvido pelo Sr. Edson Pereira, radioamador e programador de computadores. Todos os experimentos foram preparados pelo autor com equipamentos e recursos próprios. O laboratório de rádio transmissão e recepção está nas seguintes coordenadas: Latitude: 25° 30' 51,99"S, Longitude: 49° 14' 44,60"W e Altitude: 921 m, conforme mostrado nas figuras 13 e 15 e esquematizado na figura 12. A localização do espectrômetro é nas seguintes coordenadas: Latitude: 23° 06' 21.15"S, Longitude: 48° 22' 45.00"W, altitude 1.000 m, chamado "Pardinho". Está disponível na Internet no endereço <<http://www.appr.org.br/sdrbr/spectrometerphp?Qth=GG56tv>>. Na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), localizada em King George Island, há outro espectrômetro semelhante ao descrito acima, aquele monitora a faixa de frequências 14.057 kHz a 14.103 kHz. Não foi utilizado neste trabalho mas é disponibilizado pelo Dr. Alberto Setzer, pesquisador do INPE na EACF. Pode ser acessado no endereço: <<http://www.appr.org.br/sdrbr/spectrometer.php?qth=GC07tw>>.

Uma vez que alguns amadores de rádio e rádios comerciais utilizam estações com potências da ordem de dezenas, centenas ou mesmo milhares de Watts, e, muitas vezes sem estarem devidamente calibradas, os sinais a partir de Curitiba, pelo fato de ser muito fracos, foram encobertos esporadicamente, conforme demonstrado na figura 14, mesmo assim, foi perfeitamente possível o acompanhamento.



Figura 15: No lado esquerdo, está uma vista aérea do local onde foi instalada a antena de quadro vertical para radiociência. As linhas foram reforçadas pelo fato de não estar claras na imagem. No lado direito está a foto da antena e todo o seu detalhamento. (Fontes: Lado direito Google Earth modificado, lado esquerdo: Leithold, A. A.; 2007)

O PC conectado na Internet acessa o espectrômetro de Pardinho, este disponibiliza automaticamente pela Internet o gráfico de espectrometria. Na residência do autor, conforme ilustrado nas figuras 13 e 15, estão instalados a antena de quadro vertical, transceptor e computadores. Os sinais emitidos a partir do transceptor passaram a ser recebidos nas Estações Antártica Comandante Ferraz e Pardinho-SP, conforme já explicitado, os dados da EACF não foram usados. O ruído de fundo captado pelo transceptor no modo recepção foi comparado às medições dos espectrômetros e foram calibradas as frequências. Houve total concordância, validando assim o experimento.

Na figura 15 está mostrada a estação de radiociência de onde foi transmitido o sinal de RF e recebidos os sinais de RF oriundos de outras estações. Os níveis de ruído passaram a ser observados juntamente com os sinais de transmissão e recepção, com a finalidade de comparar a atividade solar com os sinais transmitidos e recebidos.

Foram armazenadas nas mesmas datas imagens oriundas do Grupo de Eletricidade Atmosféricas (GEA) do INPE, que faz parte do segundo experimento. A partir do site do NOAA foram registrados os níveis de RX, Prótons e índices KP e HP, além de imagens do Sol em tempo real. A atividade solar, com leituras da chegada de RX, passou a ser monitorada a partir do endereço *<http://www.swpc.noaa.gov/today.html>*. Foi executada a recepção dos ruídos de fundo, e contatadas estações de radioamadores de diversas partes do Brasil para conferir se havia propagação. As gravações estão em banco de dados próprio e em banco de dados público, disponíveis em *<http://sites.google.com/site/angeloleitholdpy5aal/home/amadores/radioamadorismo/gravaes_colegas_py5aal>*. Com o intuito de ter um reforço dos dados para posterior conferência para sua validação, foi observado que em determinados dias e horários, o nível de ruído variava anormalmente.

A investigação de tais ruídos a partir do endereço *<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>*, do Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Executado o armazenamento dos gráficos de descargas atmosféricas comparadas ao fluxo de RX, inseridos em banco de dados, disponível no endereço público *<http://sites.google.com/site/angeloleitholdpy5aal/home/artigo/eletricidadeatmosfericap_y5aal-dados>*, foi feita a análise visual e comparada às estatísticas embutidas em cada figura. A quantidade de raios foi observada durante vários períodos du-

rante 2009 e 2010. Nos gráficos de chegada de RX, aparece a quantidade de energia em comprimentos de ondas distintos de 0,5 a 4,0 (azul) e 1,0 a 8,0 (vermelho). Depois de baixados todos os dados, RX, Ruído e Eletricidade Atmosférica, foi feita uma comparação quantitativa com a finalidade de verificar se as oscilações seguem algum padrão. Os dados de recepção de Pardinho estão depositados no endereço <<http://arquivos.comandante.ferraz-googlepages.com-climaespacial>>.

De posse dos gráficos obtidos, foi verificada uma suposta relação entre a quantidade de descargas atmosféricas na região em que a AMAS está mais próxima da superfície, comparada a outras regiões fora do "mergulho" do cinturão interno de Van Allen. Quanto ao material coletado da EACF, este foi armazenado em banco de dados próprio para futuros estudos. Para as transmissões durante 2008, as frequências foram variadas aleatoriamente na faixa de comprimentos de ondas de quarenta metros, foi tomado o cuidado para evitar interferências, embora a máxima potência de entrada fosse somente 1,00 W (0,50 W de emissão, dependendo da antena utilizada).

3.3 MONITORAMENTO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O segundo objetivo deste trabalho é o monitoramento das descargas atmosféricas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul comparativo a outras regiões, ver figura 16. Dentre os diversos processos que podem resultar em eletrização das nuvens, o ora abordado trata da transferência de energia cinética das partículas provindas a alta atmosfera. A coleta de dados mapeou descargas atmosféricas em datas aleatoriamente escolhidas, entre maio de 2009 e julho de 2010, sabidamente de baixa atividade solar.

A figura 16 está dividida em 4 partes. Na primeira (1 - esquerda, em cima), nota-se a região da AMAS (marcada com um círculo) perfeitamente destacada pelos monitoramentos quantitativos de descargas atmosféricas registrados pela NASA.

A cor marrom no centro da região demarcada, indica quantidades de descargas muito acima da média, quando comparadas com as regiões circunvizinhas. Na mesma seção, também está marcado, próximo ao equador, com outro círculo, a região onde ocorrem descargas atmosféricas acima da média, mas com área muito menor que a registrada na AMAS. As duas regiões coincidem com as localizações de espelhamento de partículas, conforme demonstrado na segunda seção da mesma figura (Em cima, à direita).

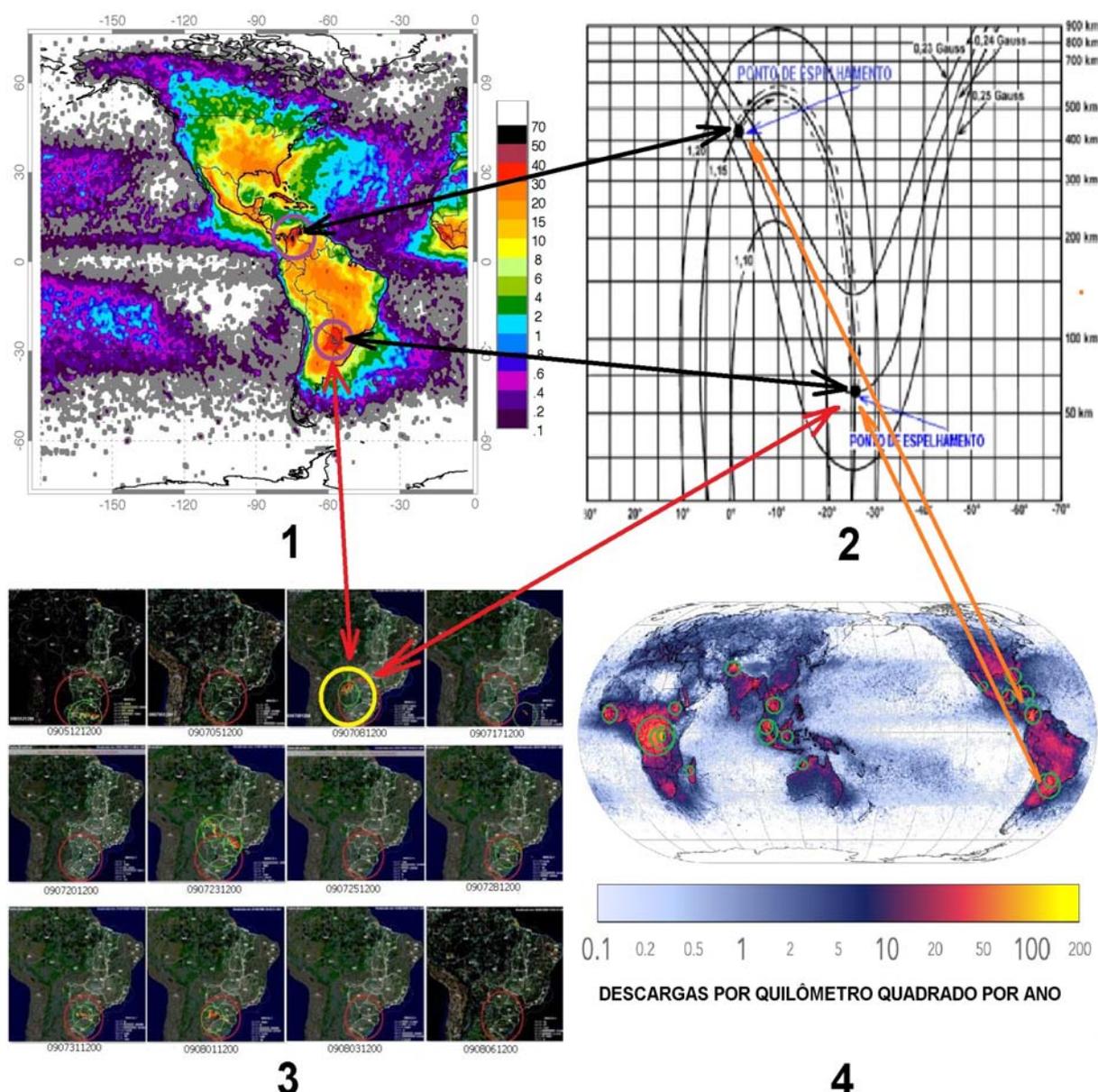


Figura 16: DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: 1- Monitoramento por satélites. (Fonte Modificada: NASA) - 2- Localização do Espelho Magnético em 1972 (Fonte: COUTINHO, E.F. 1972) - 3 Monitoramento ELAT. (Fonte Modificada: ELAT-INPE 2010) 4- Descargas Atmosféricas por metro quadrado por ano.(Fonte Modificada: NASA, 2010)

Na terceira seção (3-figura esquerda, embaixo), está demarcado com círculo amarelo, região do epicentro da AMAS, e, nos demais quadros da mesma seção, estão registradas as descargas atmosféricas mapeadas pelo ELAT. O círculo ao Sul, indica o espelho magnético das partículas que refletem em menores altitudes e interam com os gases atmosféri-

cos. No círculo mais ao norte (Próximo ao equador) também existe a reflexão de partículas, é interessante notar atentamente a figura 16 - seções 1, 2 e 3, os pontos de reflexão sugerem que de fato pode haver correlação entre o espelhamento de partículas presas e as descargas atmosféricas. Na mesma figura, na quarta seção, se observa uma imagem onde ocorreram múltiplas descargas atmosféricas, cuja intensidade e quantidade estão registradas por quilômetro quadrado registrado pela NASA. Observe-se que na África, na Bacia do Congo, é a região no planeta com maior densidade de descargas.

4 ANÁLISE DOS DADOS, RESULTADOS OBTIDOS

Na presente seção, são discutidos os resultados dos experimentos realizados em radiofrequência e os resultados obtidos dos monitoramentos de descargas atmosféricas. Estes a partir do portal do ELAT, Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Aqueles, a partir do espectrômetro disponibilizado on-line no município de Pardinho-SP.

4.1 PREÂMBULO DOS RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

As transmissões na faixa de 7,0 MHz foram iniciadas no dia 11 de fevereiro de 2008, conforme os dados mostrados no presente trabalho. O transmissor permaneceu enviando os sinais com potência máxima de entrada de 1,00 W a 2,00 W. As frequências foram escolhidas de forma a atrapalhar minimamente os importantíssimos comunicados de radioamadores. A transmissão foi registrada pelo espectrômetro de Pardinho e comparada às variações de RX do NOAA. Também, de janeiro a setembro de 2008, foi realizada observação óptica do Sol, esta, comparada aos dados da NASA.

Segundo a Agência Espacial Norte Americana, foram observados 22 grupos de manchas solares confirmadas opticamente. Em 29 de outubro do mesmo ano, foi detectado um evento que foi interpretado como um possível black-out.

O radiomonitoramento da variação de propagação na faixa de 7,00 MHz confirmou a influência das condições iônicas da alta atmosfera no apagamento total da propagação de rádio em Alta Frequência (HF).

Relatos de radioamadores diversos e recepções de estações comerciais comprovaram o “apagamentos” repentino das recepções de RF. Conforme estudado em seguida, realizada uma análise pormenorizada do evento, e re-contactadas estações de radioamadores, foi concluído que o fechamento da propagação provavelmente foi causado por um Distúrbio Repentino da Ionosfera (SID) ligado à mancha solar 1007, conforme descrito mais detalhadamente mais adiante sob o título “Estudo de um Evento Solar Ocorrido em 29 de outubro de 2008”.

4.2 ANÁLISE DO EVENTO SOLAR OCORRIDO E 29 DE OUTUBRO DE 2008

Na figura 17 é mostrada a mancha solar denominada “Número 1007”. Aparecem duas regiões escuras conectadas por filamentos eletromagnéticos com milhares de quilômetros de comprimento. Por questão dos efeitos produzidos, e pelas interconexões magnéticas ocorridas, o “grupo” de três manchas teve tal designação.

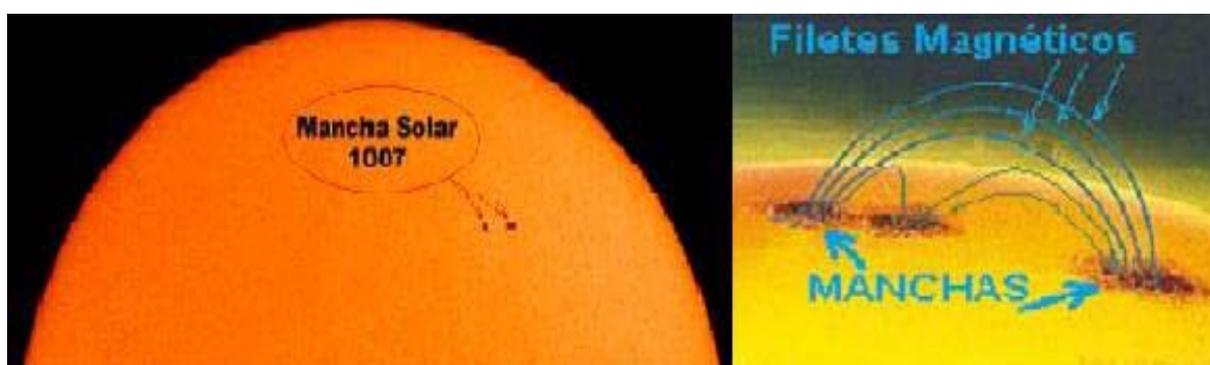


Figura 17: Mancha solar 1007. (Fonte modificada: NASA, 2008)

O Ciclo Solar está em transição, esta propicia grupos de manchas que podem variar como pertencentes ora para um, ora para outro. Mesmo assim, os efeitos podem ser observados tanto na recepção de radiofrequência quanto na transmissão, conforme será detalhado. Também se observa nos sensores dos satélites GOES os surtos de aumento de RX (Figura 19) e variações abruptas de elétrons (Figura 21). Entre os dias 03 até 06 de novembro de 2008, ocorreram diversos picos, estes continuaram provavelmente promovendo um aumento ainda maior de ionização. Segundo a NASA informou no endereço < http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/07nov_ignsoflife/ >, a mancha solar 1007 causou fechamentos e aberturas de propagação, provavelmente causados por SID's. Nas recepções de radiofrequência e nas gravações efetuadas pelo autor, foi observado que a propagação de rádio, na faixa de 7,00 MHz, estava bastante fora do esperado, confirmando assim o noticiado pela agência

espacial americana. Conclui-se que as condições de propagação estavam anômalas, isto é, ora a propagação abria para diversas regiões do Brasil, e ora fechava inesperadamente. Notou-se também que, para distâncias em torno de 400 km, em torno da antena emissora, não havia comunicações, salvo algumas “janelas” de pequenas aberturas que ocorriam em horários aleatórios.

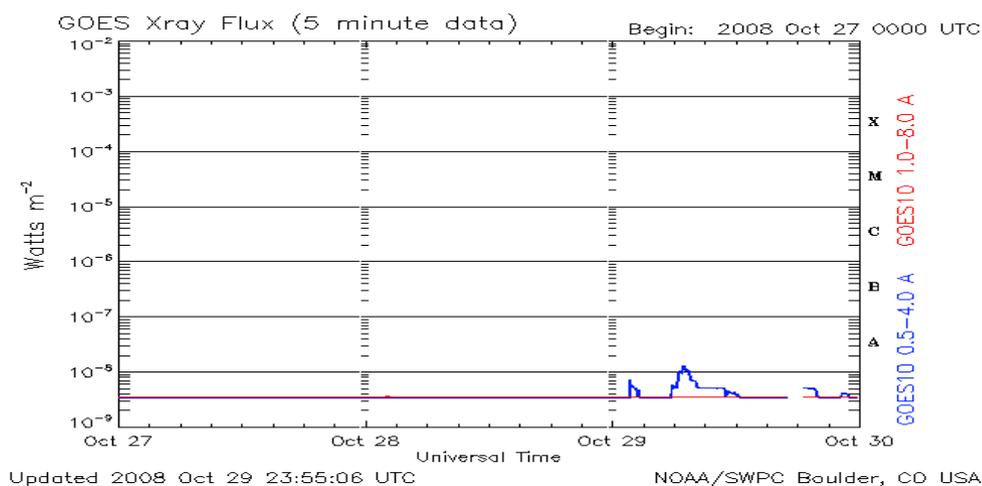


Figura 18: Chegada de RX proveniente da atividade solar juntamente com a mancha solar 1007 - 27/10/08 a 30/10/08, se observa que não houve uma grande variação dos RX além de um pequeno aumento de intensidade. (Fonte modificada: NASA, 2008)

Na figura 18 nota-se que o Sol iniciou uma atividade juntamente com o aparecimento da mancha 1007. Houve uma grande quantidade de chamas solares de baixa intensidade. Os RX, por se tratar de fótons, se propagam no espaço na velocidade da luz. Ao chegar à Terra, foram registrados alguns picos, estes foram observados pelos Satélites GOES. Em função da atividade solar, é possível que tenha ocorrido um fenômeno de fechamento de propagação. Em outubro de 2008, o Ciclo Solar 23 já estava praticamente encerrado, assim, o Ciclo Solar 24 se iniciava, muito lentamente. No dia 29 de outubro de 2008, às 07:00 hs UTC, nota-se um pequeno aumento de RX nos comprimentos de onda de 0,5 a 4,0 Å (Figura 19). A partir do dia 01/11/2008, iniciou uma atividade solar, embora não tão intensa, esta estava intrinsecamente ligada ao grupo 1007, o comprimento de ondas era de 1.0 a 8,0 Å. Com a chegada dos RX, provavelmente aumentou a ionização, uma consequência imediata do aumento de energia é o acréscimo do

ruído de fundo em HF, conforme foi observado em 7,00 MHz.

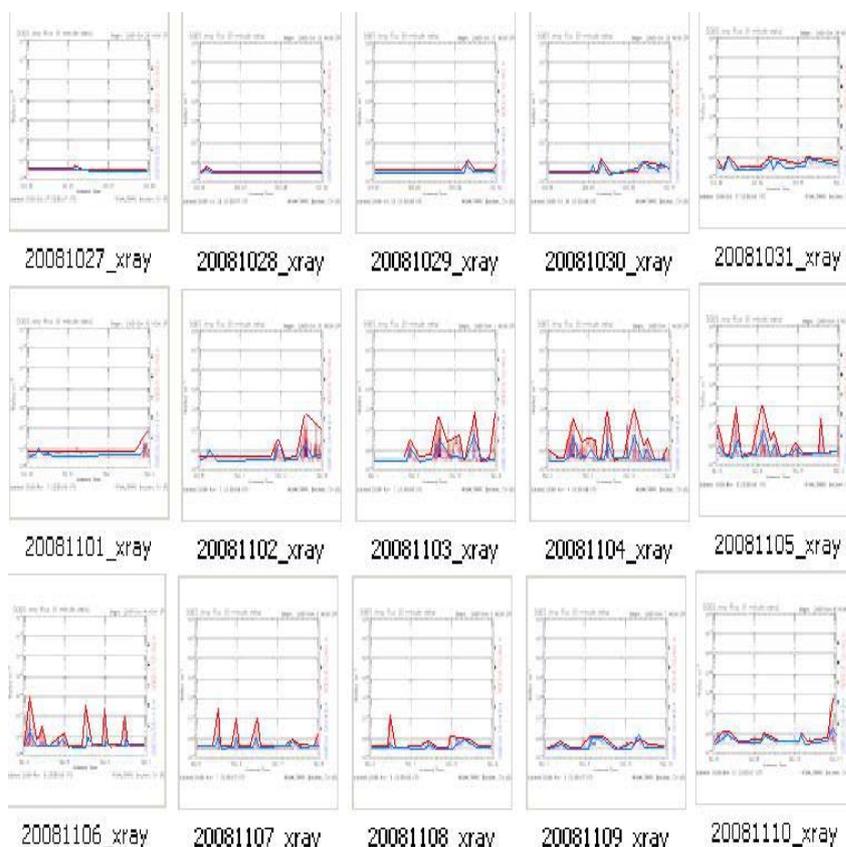


Figura 19: Monitoramento de RX de 27/10/2008 a 10/11/2008, do dia 02/11/2008 ao dia 08/11/2008 nota-se um aumento da intensidade dos RX, principalmente entre 1,0 a 8,0 Å. (Fonte modificada: NASA, 2008)

Observando o espectrograma enviado da Estação de Pardinho - SP, nota-se pela figura 20, o aparecimento de linhas horizontais, estas são surtos de ruído causados por fortes descargas atmosféricas. As descargas podem ser raios ou relâmpagos. O pulso eletromagnético causado pelas descargas atmosféricas tem uma gama extremamente larga, varre as mais diversas frequências e é captado a longas distâncias.

Em HF, dependendo das condições de propagação, os pulsos podem ser confundidos com ruído de fundo (Cachoeira), dependendo da quantidade e densidade das descargas. Dependendo das condições atmosféricas, ao aumentar a ionização, em seguida chegam partículas que são aprisionadas nos cinturões de Van Allen. O mais interno insere um aumento de energia na ionosfera, esta supostamente pode ser convertida num

surto de ionização, que por sua vez, pode gerar correntes iônicas em grandes altitudes carregando a Atmosfera.

Uma vez que o cinturão de radiação interno de Van Allen está mais próximo ao solo na região da AMAS, supostamente poderá ocorrer a ionização da ionosfera inferior, em torno de 50 km de altitude, onde estão localizadas as Camadas C e D da ionosfera (Ver figura 9).

Em função do aumento de energia e de íons propriamente ditos, pode ocorrer um incremento da densidade iônica local, aumentando assim a taxa de colisões. Poderá ocorrer também, dependendo da temperatura e dos movimentos de convecção da alta atmosfera, a eletrização até em torno dos 10 km de altura em relação ao solo (Ver figura 11).

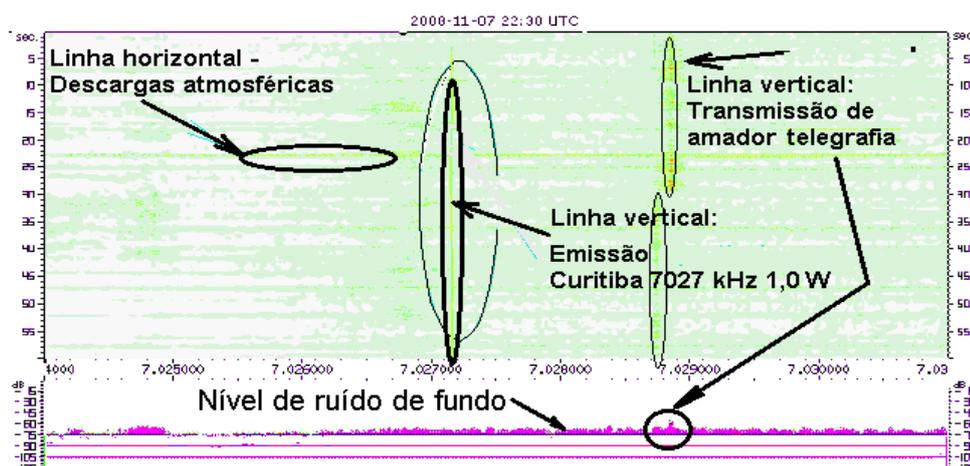


Figura 20: Registro do ruído de fundo comparado ao sinal enviado do Laboratório de Radiociência em 08/11/2008, às 22:30 UTC. (Fonte modificada - cores invertidas e edição: Pereira, E., espectrômetro do SDRZero Pardinho-SP, 2008)

Na figura 20, se observa uma fraca linha vertical, marcada pela flecha preta, na frequência de 7.027 kHz aproximadamente. Esta linha é a recepção do espectrômetro do sinal enviado a partir de Curitiba. (As cores foram invertidas para facilitar a visualização no documento impresso.)

A RF, em sua viagem, depois de refletida na camada F é recebida em Pardinho. Em seguida, após processado o sinal, as informações são disponibilizadas na Internet. Os raios-X se propagam à velocidade da luz no espaço, ao chegar à ionosfera levam certo

tempo até ionizá-la, este atraso ocorre por causa da baixa densidade na região, assim, é necessária uma quantidade maior de energia até que seus efeitos se façam observáveis.

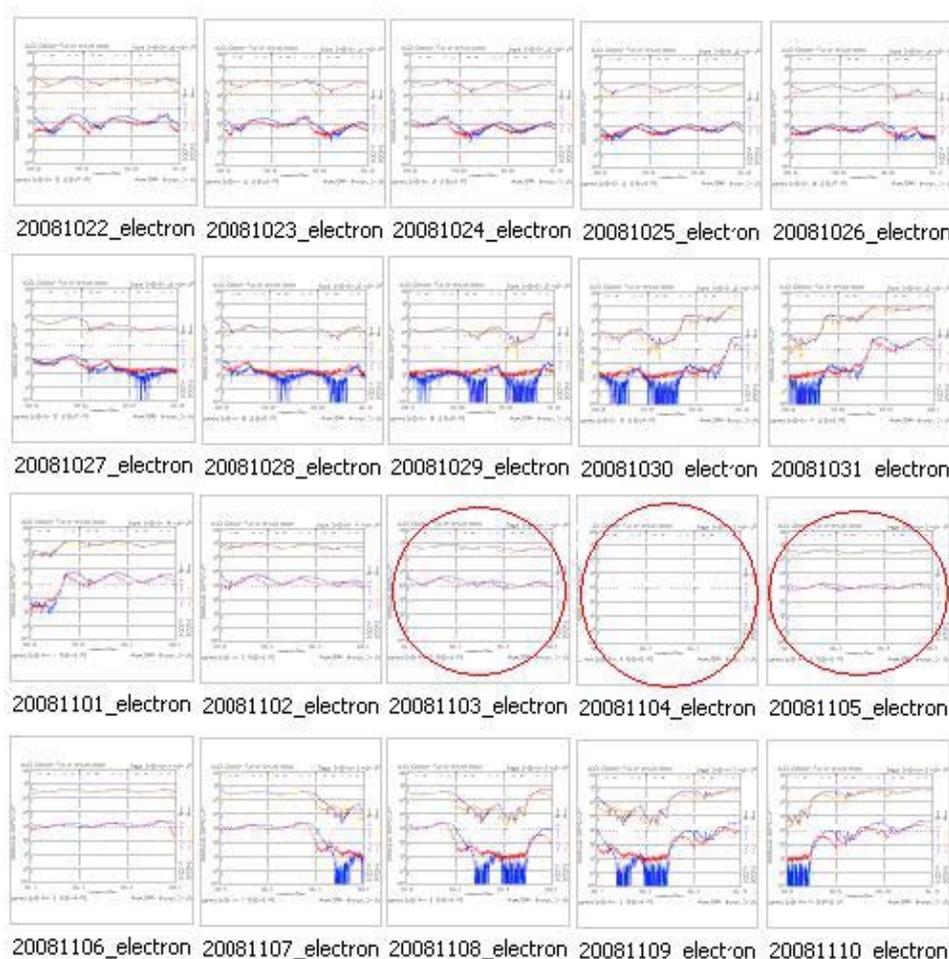


Figura 21: Taxa de chegada de elétrons entre os dias 22/10/2008 e 10/11/2008, o círculo que marca o dia 04/11/2008 mostra que o satélite estava fora do ar. (Fonte modificada: NASA, 2008)

Observando a figura 21, nota-se que há muitas flutuações eletrônicas, e, que no dia 04 de novembro de 2008, conforme marcado pelo círculo vermelho não estão registrados os índices de chegada de elétrons. Picos de Raios X levam algumas horas para ionizar as camadas C, D, E e F respectivamente, sendo que as camadas F são as que primeiro ionizam e as C e D mais ionizáveis por partículas mais energéticas.

As partículas provindas do Sol, a partir do dia 2 de novembro de 2008, conforme a figura 21, também têm um certo retardo para se fazer sentir, pois antes de chegar à ionos-

fera, muitas são aprisionadas nos Cinturões de Van Allen, e, somente após uma certa “saturação”, é que conseguem transpassar as barreiras das linhas da Magnetosfera, que são as responsáveis pela formação dos cinturões de radiação.

Nos dias 3, 4 e 5 de novembro, a Ionosfera continuou a receber elétrons, íons, Raios X e radiação Ultra-Violeta dentre outros, que somados causaram um acréscimo na ionização também. Mesmo após o pôr do Sol, leva um certo tempo para diminuir a transferência de energia na alta atmosfera.

Sendo que a chegada de energia esteve bastante isolada, em comparação à períodos de alta atividade solar, e ocorrendo em dias seguidos, a ionização, neste caso, prevaleceu sobre a recombinação, ou seja, o período em que a ionosfera ficou com menor quantidade de íons foi menor que o período em que recebia Íons provindos do Sol. Sabe-se que ao ocorrer ejeção de matéria do Sol, além de Prótons, ou íons de Hidrogênio, os núcleos de Hélio, partículas Alpha, conseqüentemente bastante massivas, são lançados à cerca de 450 km/s, e que os prótons acelerados, dependendo da energia da explosão, chegam à velocidades até 100.000 km/s. [19]

Estudando as figuras 19, 20, 21, se pode supor que a massa ejetada pode ter causado o aumento do ruído de fundo devido à atividade iônica aumentada na ionosfera. Na região de influência da AMAS, na se observou às 22h30min UTC do dia 07 de novembro de 2008, tal incremento de ruído. Por ser mês de novembro, pode-se considerar que o Sol está acima do horizonte, pelo fato de ser 19h30min, hora local (20h30min, horário de verão), os efeitos de recombinação e ionização estão, neste caso, ocorrendo ao mesmo tempo, sendo que a ionização ainda prevalece, embora a energia provinda do Sol estivesse naquele momento rapidamente se reduzindo pelo fato de ser o ocaso. Quando ocorrem os fenômenos de ejeção de massa coronal em regiões onde o campo magnético é reduzido (Região da AMAS), podem ocorrer algumas variações abruptas de ruído, este pode ser maximizado ou minimizado, pois depende da hora, local e época do ano. As oscilações do ruído de fundo podem ser causadas pela ionização, recombinação, ou mesmo devida a captura de partículas pelos cinturões de Van Allen.

As informações devem ser cruzadas para evitar erros nas interpretações. Por exemplo, com oscilações abruptas de índices de RX, os índices devem ser comparados às flutuações da propagação de ondas de radiofrequência e observações ópticas do Sol. Pois, através do cruzamento das três informações, foi possível, no dia 07 de novembro 2008 às

22h30min UTC, verificar que o espectrômetro instalado em Pardinho - SP, registrou que após o aumento da intensidade do ruído de fundo e aumento das descargas atmosféricas, ocorreu um suposto black-out total nas comunicações na faixa observada de 40 metros, na frequência 7.027 kHz.

O apagamento das comunicações mostrado na figura 22, supostamente foi causado por um distúrbio repentino na ionosfera (SID) a partir da forte ionização da camada D, normalmente absorvedora de RF. A imagem do Sol na figura 17, mostra que a Mancha Solar 1007 estava bastante ativa no dia 29 de outubro 2008, sendo que praticamente eram três eventos que se configuraram como um grupo de manchas solares. Como o Sol leva 27 dias aproximadamente para completar uma rotação, os efeitos da mancha 1007 foram sentidos logo após, quando a energia ejetada chegou à Terra (Ver figuras 17, 18, 19, 21 e 20).

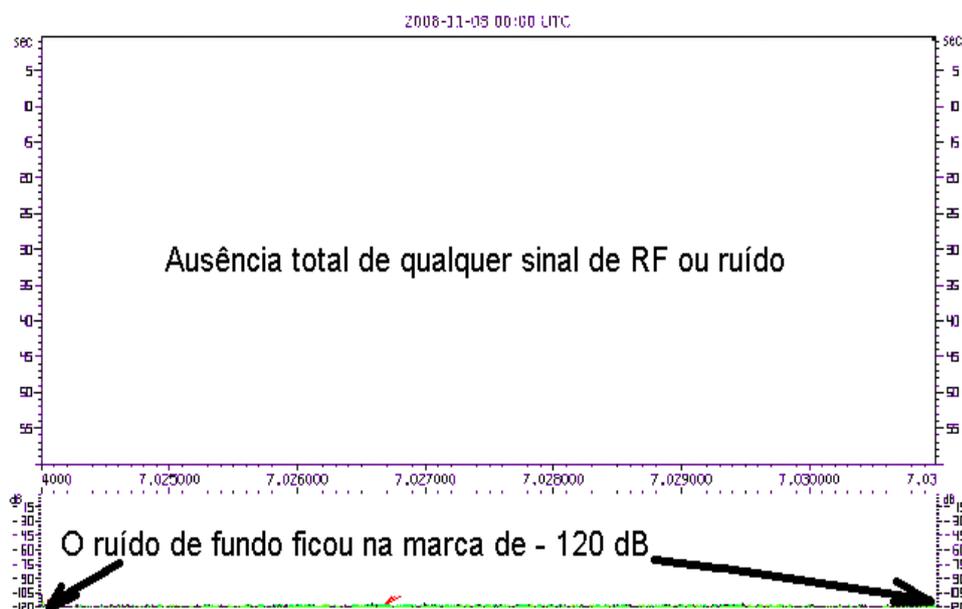


Figura 22: Suposto Black-out total na faixa de 7,00 MHz em 0h00min UTC 08/11/2008. (Fonte Modificada: Pereira, E. - SDRZero, 2008)

O fenômeno de black-out foi possivelmente registrado pelo espectrômetro de Pardinho - SP às 00h00min UTC em 08 de novembro de 2008. Na figura 22, nota-se que o ruído desapareceu, ou seja, houve total silêncio de rádio. Coincidentemente, após o

evento, relatos de radioamadores informaram que a propagação simplesmente fez todas as estações da Região Sul do Brasil sair do ar. Faixas onde normalmente há comunicados neste horário ficaram em total silêncio.

Os sinais transmitidos em telegrafia, muito mais penetrantes que fonia, também não foram ouvidos. As faixas de 40 metros e 80 metros ficaram totalmente fechadas para quaisquer comunicações de rádio durante o aparente black-out. Os ruídos de fundo deixaram de ser recebidos, a relação sinal/ruído vista no gráfico verde no espectro de amplitude, na parte inferior da figura 22, mostra o silêncio de rádio, e, ao compará-la com as figuras 20 e 23, percebe-se que há uma diferença de -75 dB para -120 dB para o ruído de fundo, ou seja -45 dB.

De acordo com tabelas logarítmicas, grosseiramente, a cada 3 dB o “sinal divide” sua intensidade pela metade. Apesar de aparecer um ruído residual, o silêncio foi total. Assim foi observado que o sinal enviado a partir do transmissor instalado em Curitiba, flutuou intensamente. A estação receptora instalada no Campus de Pesquisas Geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho, em Paula Freitas - PR, também registrou total silêncio de rádio, no mesmo horário.

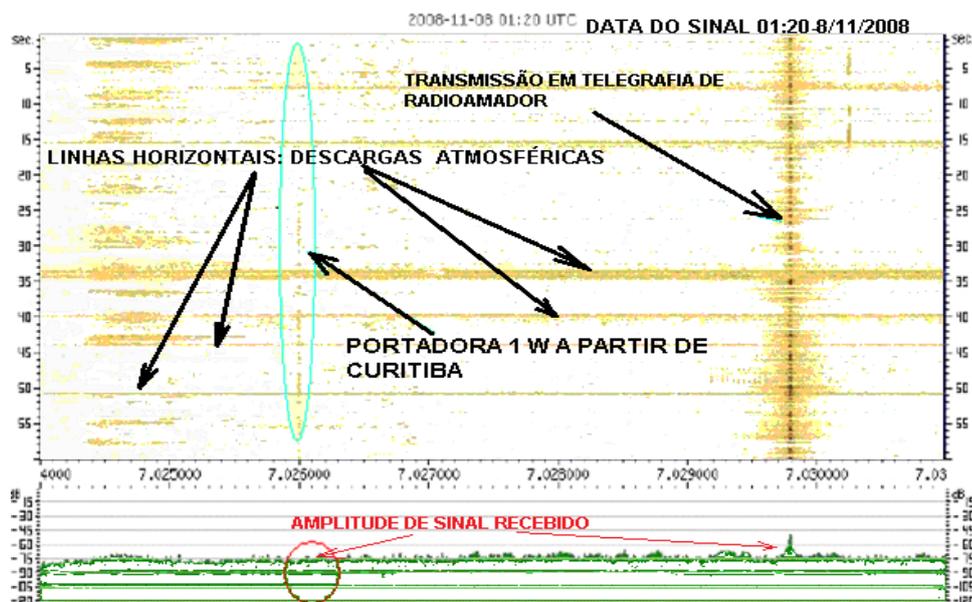


Figura 23: Suposto retorno da propagação em 7,00 MHz. Em 01h20min UTC 08/11/2008. (Fonte modificada: Pereira, E.; 2008)

Na figura 24, estão marcados os radares do ELAT, “Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)”, que cobrem os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Tocantins, Maranhão, parte do Pará e Mato Grosso do Sul. Cada losango branco representa uma estação de sensoriamento de descargas atmosféricas.

Em função do black-out total de comunicações, se iniciou um monitoramento sistemático das descargas atmosféricas. O objetivo foi verificar se a atividade solar (RX) poderia influir de forma importante na eletrificação atmosférica na região. No decorrer da pesquisa, foram executadas diversas leituras e feitas comparações entre os índices de Raios X e relâmpagos. A princípio as leituras foram coincidentes, mas os dados e leituras divergiram. Assim, conclusões a respeito da eletricidade atmosférica e RX não podem ser tomadas antes de um estudo sistemático mais aprofundado, pois os dados do presente trabalho não são suficientes para comprovar tal hipótese.

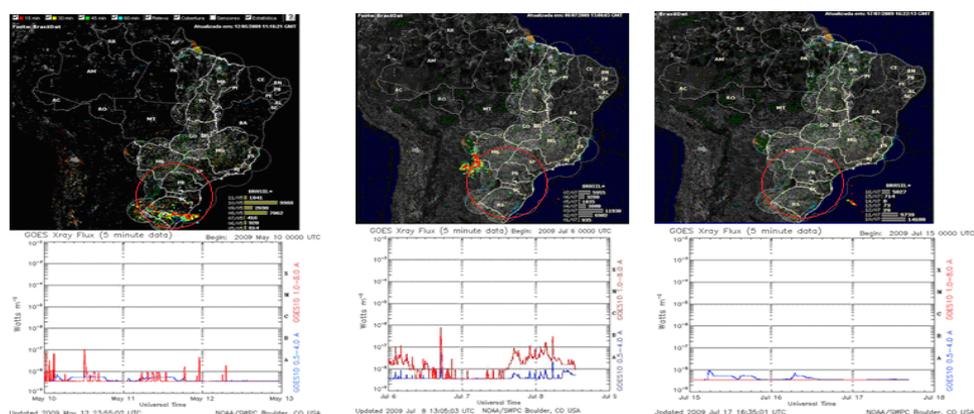


Figura 25: Descargas atmosféricas e RX de 10 a 13/05/2009, 06 a 09/07/2009 e 15 a 18/07/2009. (Fontes modificadas: INPE- ELAT - Mapas do Brasil e descargas atmosféricas, 2009; NASA: Índices de RX captados pelos sensores dos satélites GOES, 2009)

O foco assim foi direcionado no sentido de verificar se a quantidade de raios na região da AMAS é superior ou inferior a outras regiões do Brasil, cobertas pelo ELAT. Isto, apesar da mudança do foco, supostamente indicaria uma ligação entre a eletricidade atmosférica e ionização da baixa ionosfera na região de influência da AMAS. Na figura 25, foi feita a comparação entre a quantidade de raios e a variação de chegada de Raios X em

três datas diferentes, de 10 a 13/05/2009, 06 a 09/07/2009 e 15 a 18/07/2009. Foi observado que houve um aumento de chegada de Raios X, ao mesmo tempo ocorreram muitas descargas na região central da AMAS, onde o campo magnético da Terra tem o seu menor valor. Esta observação não pode ser tomada como definitiva, pois haver relação entre as descargas atmosféricas e chegada de RX, devem haver outros elementos. Por exemplo, a ionização nas altas camadas é causada por RX e UV. Mas nas baixas camadas, é mais relevante a ionização causada por partículas mais energéticas. Assim, a conclusão que se chega é que os RX e UV poderiam ser coadjuvantes no processo, mas não os elementos principais. Mas, algo que salta aos olhos, é a região de descargas atmosféricas, sempre próximo ao epicentro da AMAS, marcado com círculo vermelho.

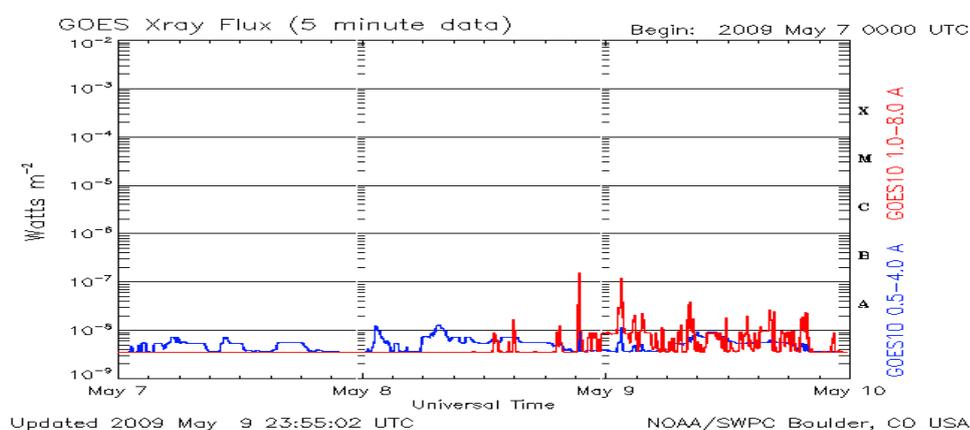


Figura 26: Gráfico de intensidade de RX de 07 à 10 de 05 de 2009. Não há uma chegada de RX significativa nos comprimentos de ondas do 0,5 a 4,0 Å. Há fortes picos de RX entre 1,0 a 8,0 Å. (Fonte modificada: NASA, 2009)

Existe a variação de fluxo de Raios X (figura 26) a partir das 12h00min UTC do dia 08 de maio de 2009. Não há uma chegada de RX significativa nos comprimentos de ondas do 0,5 a 4,0 Å, contudo, se observa que existem fortes picos de RX nos comprimentos de ondas compreendidos entre 1,0 a 8,0 Å. Isto significa que pode ocorrer a ionização nas altas camadas da ionosfera. Se comparada à figura há uma coincidência entre o aumento de RX e descargas atmosférica conforme já comentado. No gráfico do satélite GOES da figura 27 e figura 29, entre 04 a 08 de julho de 2009, percebem-se fortes oscilações de RX que podem estar relacionadas com o aumento dos ruídos na faixa de HF, mas, também pode estar relacionado com a sua redução, caso ocorra forte absorção.

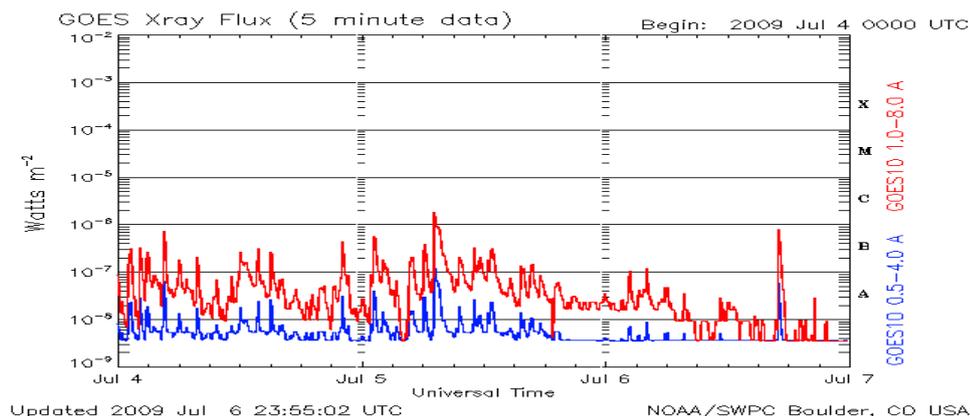


Figura 27: RX de 04/07/2009 a 07/07/2009. Entre 04 e 07 de julho de 2009 há oscilações de Raios X. (Fonte modificada: NASA, 2009)

A informação, embora pareça contraditória, está relacionada à ionização ocasionada por partículas altamente energéticas que atingem as regiões C e D. Caso a radiação atinja valores que ionizem as regiões superiores (Camadas F1 e F2), aumentará a reflexão de sinais via camadas F. Caso ocorra aumento de densidade iônica nas camadas C e D, os sinais em HF de 3 a 30 Mhz, serão absorvidos. A absorção de sinais pode ser acompanhada de ruído branco, semelhante a um som de cachoeira, facilmente percebida em receptores de rádio. Entre os dias 10 e 16 de julho de 2009, dos dias 12 até 15, houve pouca intensidade de descargas atmosféricas.

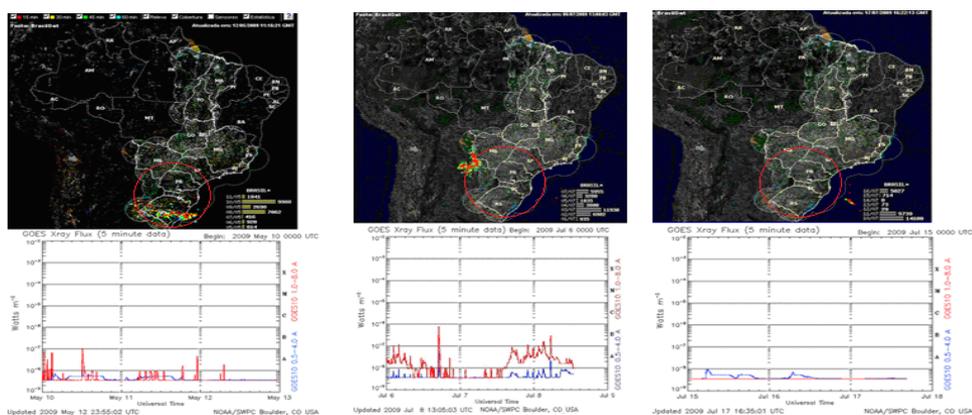


Figura 28: Descargas atmosféricas e RX de 10 a 13/05/2009, 06 a 09/07/2009 e 15 a 18/07/2009. (Fontes modificadas: INPE- ELAT - Mapas do Brasil e descargas atmosféricas; NASA: Índices de RX captados pelos sensores dos satélites GOES, 2009)

Na figura 28 os círculos vermelhos marcam o epicentro da AMAS, este é próximo às fronteiras do Paraná e Santa Catarina, no Oeste e com aproximadamente 800 a 900 km de raio conforme visto na figura 11, contudo, tem zona de influência maior, chegando à região Centro-Oeste.

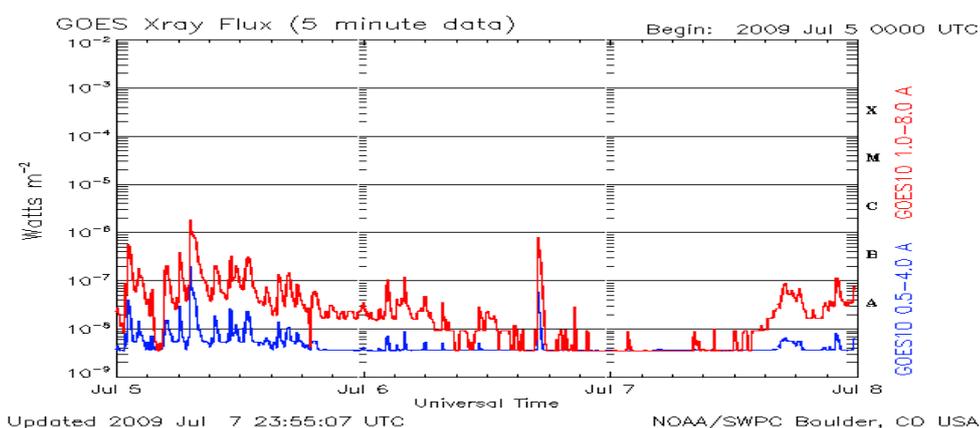


Figura 29: RX de 05/07/2009 a 08/07/2009.(Fonte modificada: NASA,2009)

Na figura 29 é observado um aumento de RX no dia cinco de julho de 2009, com declínio nos dias seis e sete e aumento a partir do dia oito de julho de 2009.

Fato a ser notado é a região onde ocorrem as descargas, pois está sempre dentro ou nas imediações do epicentro da AMAS. De acordo com os gráficos e observações, a atividade elétrica parece mostrar que a quantidade de descargas é muito maior que em outras regiões do Brasil. Comparando com os índices de RX são notáveis inconsistências, pois, os índices de descargas atmosféricas aparentemente não acompanham os índices de RX. Ou seja, os dados durante o período de estudo apontam para uma possível desconexão entre os índices de RX e quantidade de descargas atmosféricas.

A figura 30 detalha a estatística das descargas atmosféricas nas barras horizontais embaixo e à direita do mapa do Brasil. Notam-se em 10/07 14.180 descargas, com rápido declínio em 11/07. Nos dias 12, 13, 14 e 15 de julho praticamente não houve descargas em quantidade significativa. No dia 16/07/09 houve um aumento razoável, chegando a 5027 descargas.

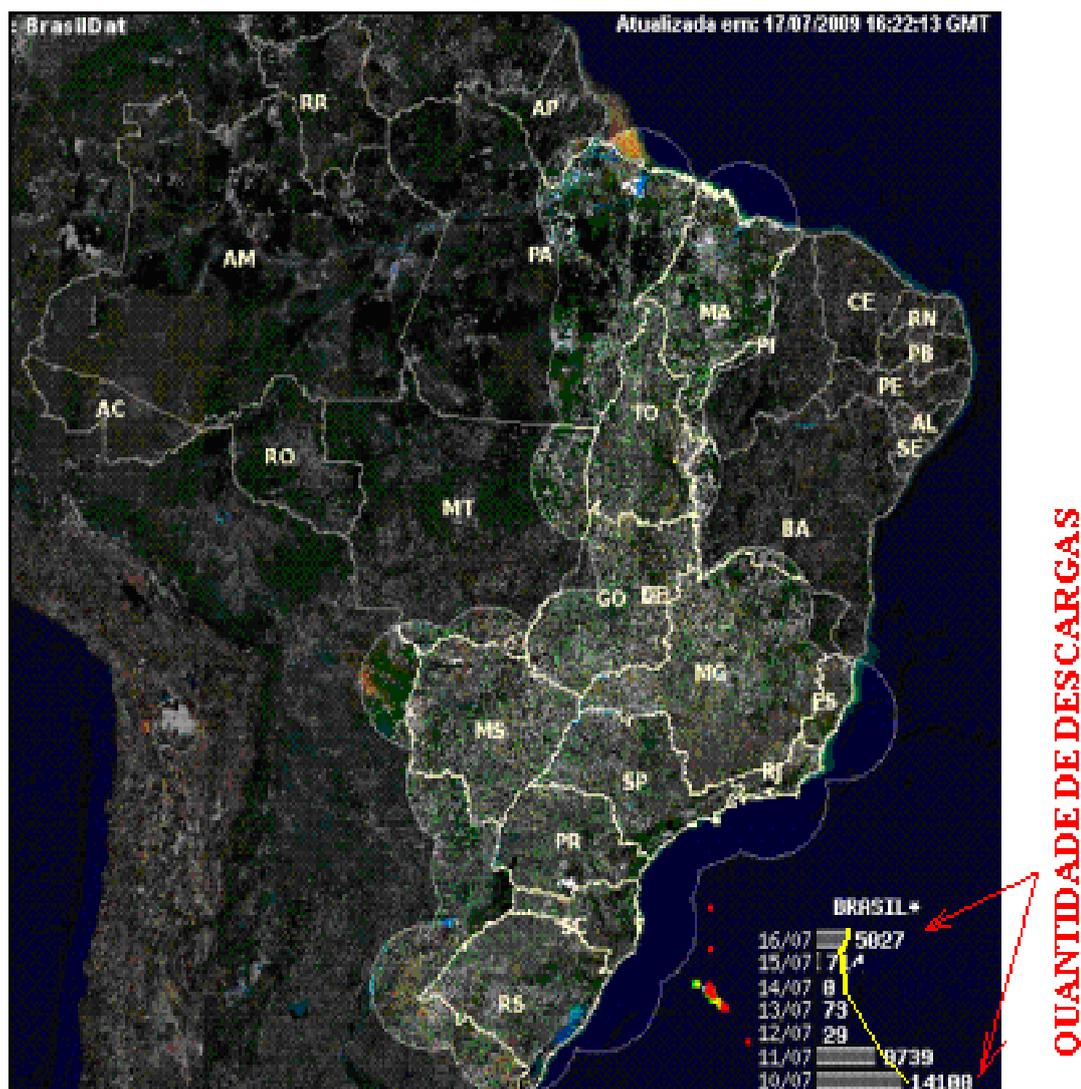


Figura 30: Descargas de 10/07/2009 a 16/07/2009. (Fonte modificada: INPE, 2009)

As observações mostraram que as descargas atmosféricas se dão em sua maior quantidade, justamente na região dentro de um raio de 1.000 km aproximadamente, a partir do centro da AMAS. Assim, se supõe que deva haver alguma conexão entre a quantidade de descargas e a AMAS. Estudos futuros poderiam verificar se existe a possibilidade da ocorrência de algum tipo de efeito semelhante a um “oscilador de relaxação”. Supostamente a atmosfera se carrega eletricamente a partir da atividade solar, e por algum motivo ainda desconhecido, ocorram as descargas justamente na região da AMAS e que poderia ser, inclusive um fenômeno cíclico. Observando a estatística à direita embaixo da figura 30, e comparando com as figuras 31, 32, 33 e 34, parece haver alguma relação entre os RX e a intensidade das descargas atmosféricas, mas em outras comparações esta relação

parece não existir, o que indica uma lacuna que necessita maior investigação.

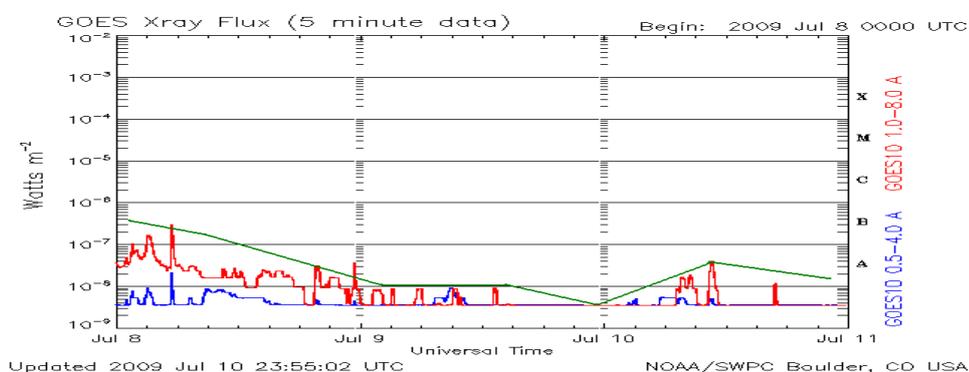


Figura 31: RX de 08/07/2009 a 11/07/09. (Fonte modificada: NASA, 2009)

Na figura 31 e nas subsequentes, conforme está demonstrado, são observados os índices de RX. Se comparados, por exemplo, à figura 29, nota-se uma aparente conexão entre os índices de RX e os índices de descargas atmosféricas. Contudo, há que se notar, possíveis conexões que só poderão ser analisadas a partir de estudos mais profundos.

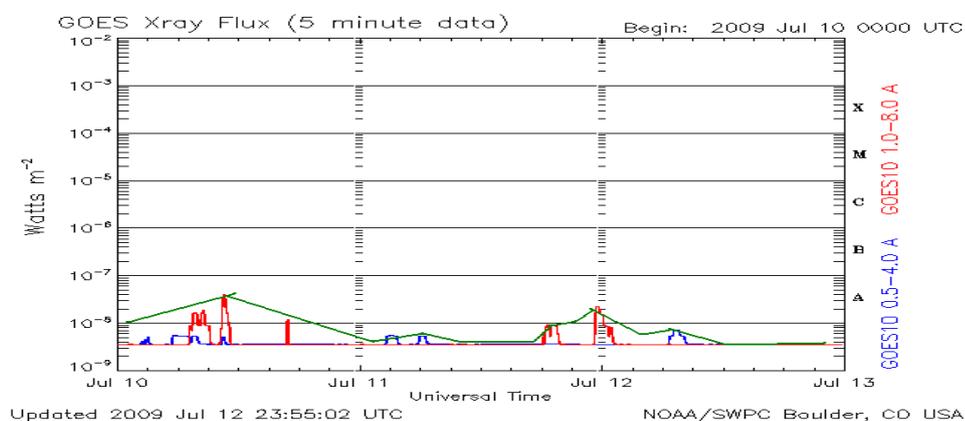


Figura 32: RX de 10/07/2009 a 13/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)

A interação com a Atmosfera é maior no ponto de espelhamento de partículas quanto mais profundamente estas penetram na atmosfera terrestre, encontrando assim camadas mais densas.

Assim, embora os índices de RX muitas vezes possam ser relativamente baixos, a carga pode ocorrer a partir do vento solar propriamente dito e sua interação com os gases

na região.

Na figura 33 que cobre os índices de RX de 10/07/2009 a 13/07/09, são observados índices de RX relativamente baixos. Sua variação também se encontra em valores que podem ser considerados relativamente baixa.

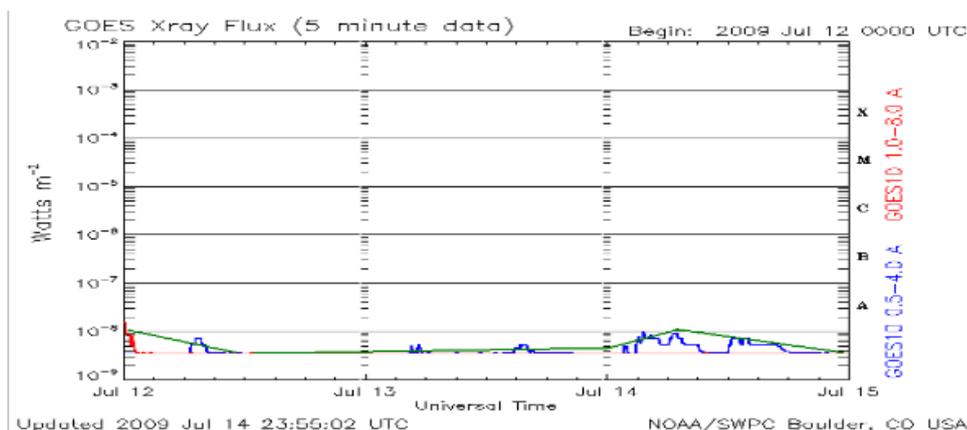


Figura 33: RX de 12/07/2009 a 15/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)

A figura 34 cobre os índices de RX de 12/07/2009 a 15/07/09, vê-se na continuidade que a variação também e os índices de RX permanecem ainda baixos.

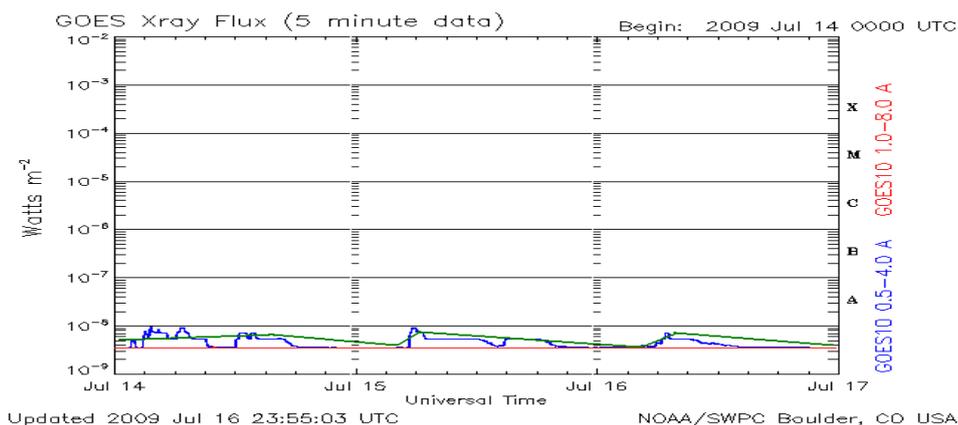


Figura 34: RX de 12/07/2009 a 15/07/09.(Fonte modificada: NASA, 2009)

Na figura 35, estão registradas as descargas atmosféricas do dia cinco de maio de 2009 até onze de maio de 2009, as descargas se dão no interior da zona de espelhamento do cinturão interno de Van Allen (Marcado através do círculo amarelo).

Durante todo o período de pesquisas, a grande maioria das descargas se deu, se não no epicentro da AMAS, nas suas imediações. As estatísticas completas e sistematizadas por Regiões, Estados e Municípios estão disponibilizadas e podem ser verificadas com mais detalhes no endereço eletrônico do ELAT: < <http://www.inpe.br/ranking/> >



Figura 35: Descargas atmosféricas 05/05/2009 a 11/05/2009.(Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)

Na figura 36, estão registradas as descargas atmosféricas de primeiro de julho de 2009 a sete de julho de 2009, se observa que houve uma intensa atividade de descargas atmosféricas nos dias 02, 03 e 04 de julho de 2009. O círculo amarelo mostra a região central da AMAS. Na continuidade do estudo, percebeu-se que a quantidade de descargas e sua

localização está próxima a este centro. Numa contagem preliminar, observou-se que em 15 minutos no dia 04 de julho de 2009, no horário de 13h08min UTC, 10h08min Brasília, ocorreram cerca de 102 descargas na região próxima à AMAS, e em outras regiões do país praticamente não ocorreram, embora na região amazônica, por exemplo as chuvas são constantes e não há monitoramento do ELAT.

À medida em que as observações foram avançando nos anos de 2009 e 2010, verificou-se uma constância da quantidade de descargas atmosféricas na região Sul do Brasil. Cabe salientar ainda, que os dados foram comparados às observações em HF e o resultado de ambos foi compatível.

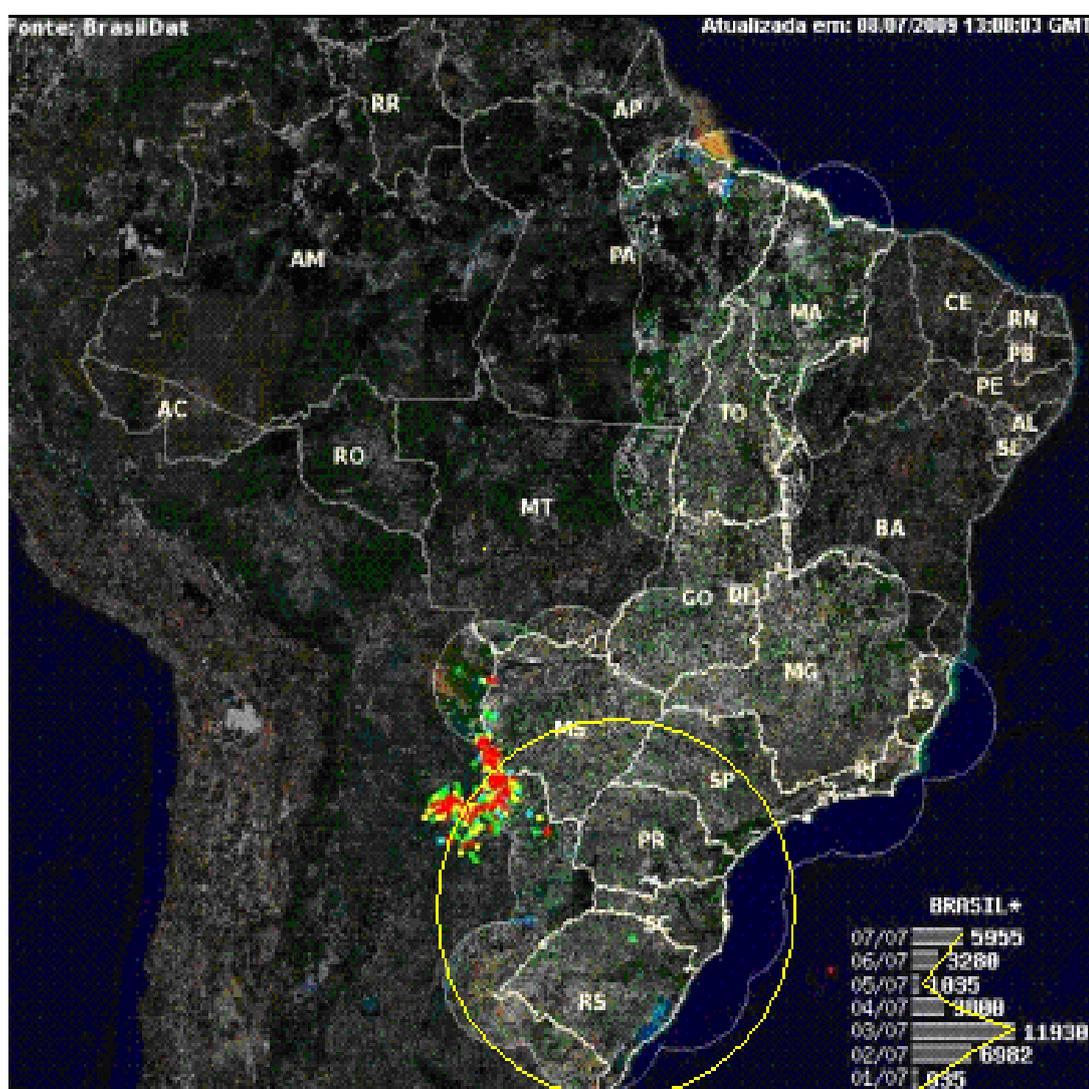


Figura 36: Descargas atmosféricas 01/07/2009 a 07/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)

Na figura 37, se observa intensa atividade de descargas atmosféricas nos dias 16 e 22 de julho de 2009.

Em 23 de julho de 2009, 16h21min UTC, a contagem de descargas foi entre 16h00min a 16h15min, cerca de 100 descargas (pontos vermelhos), nas duas frentes. Comparando com os índices de Raios X notou-se que não há concordância entre RX e a quantidade de descargas.

A discordância, é suposto, ainda não poderia ser considerada como invalidadora da hipótese de ligação entre os índices de RX e a eletricidade atmosférica.



Figura 37: Descargas atmosféricas 16/07/2009 a 22/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)

Na figura 38, observa-se que houve uma atividade de descargas atmosféricas nos dias 22 e 23 de julho de 2009. No dia 28 de julho de 2009, das 15h00min às 15h30min UTC, observa-se que a quantidade de pontos vermelhos é inferior a 100 nos últimos 15 minutos.

As descargas continuaram a seguir o padrão de ocorrência em grande parte dentro ou próximo da região demarcada pelo círculo amarelo, indicador do centro do mergulho do Cinturão de Van Allen, conforme observado nas figuras 7 e 8.



Figura 38: Descargas atmosféricas 21/07/2009 a 27/07/2009. (Fonte modificada: INPE - ELAT, 2009)

Na figura 39 é mostrado o índice de RX de 20 a 23 de julho de 2009 quase sem atividade, na figura 38 nos dias 22 e 23 de julho há um aumento de descargas atmosféricas. As observações demonstradas nas figuras acima e no anexo 1, apontam para uma possível relação entre a quantidade das descargas atmosféricas e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. O círculo amarelo nas figuras representa a área de maior aproximação do cinturão interno de Van Allen com a camada D da ionosfera e também do epicentro da AMAS, na regiões de fronteira Oeste do Paraná e de Santa Catarina.

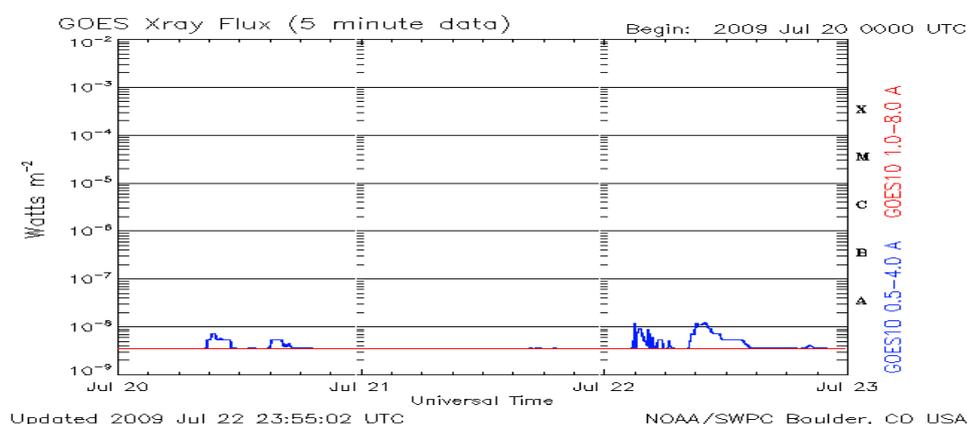


Figura 39: Fluxo RX 22/07/2009.(Fonte modificada: NASA, 2009)

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Sabe-se que o principal processo de formação de elétrons livres na Ionosfera é a absorção de radiação solar na faixa do extremo ultravioleta e Raios X. As flutuações da amplitude ou fase das ondas de rádio, por exemplo, são consequência da propagação através de regiões onde existem irregularidades na densidade eletrônica, ocorrendo assim o enfraquecimento dos sinais nas mais diversas frequências.

Pode acontecer o fechamento total da propagação chamado de black-out das comunicações de rádio, conforme demonstrado na figura 22, em função do repentino aumento de densidade eletrônica nas camadas C e D da Ionosfera.

Foi verificado que na região AMAS, a precipitação de partículas energéticas apri-

sionadas pelo cinturão interno de Van Allen, se dá quando entram em contato com a atmosfera mais densa. Isso pode fazer ocorrer a ionização mesmo nos períodos calmos. Este fenômeno ocorre devida a constância do vento solar, pois os elétrons com energia em torno de dezenas a centenas de keV ionizam a baixa ionosfera. Possivelmente o aumento da eletricidade atmosférica poderia ser propiciado por tais fontes adicionais de eletrização.

Dentre todas as observações realizadas, uma que chamou a atenção foi sobre a quantidade de ruídos em HF no comprimento de ondas de 40 metros (7,00 MHz) na região da AMAS. Por curiosidade, foi feita uma rápida observação se tais ruídos também eram percebidos em outras frequências e regiões. Tal fato foi confirmado por estações de rádio recepção de radioamadores.

Os relatos encontram-se gravados em: < http://sites.google.com/site/angeloleitholdpy5aal/home/amadores/radioamadorismo/gravaes_colegas_py5aal >, contactadas estações diversas, os rápidos resultados foram interessantes, pois, todas as estações fora da AMAS não relataram quantidades de ruídos iguais às captadas em seu interior.

Referente às descargas elétricas, a quantidade ocorrida dentro de um raio de 1000 km em torno da AMAS foi muito grande, conforme as figuras 40, 41, 42 e 43 no Anexo 2. Assim, detectou-se uma íntima relação entre a quantidade de descargas atmosféricas e a AMAS, independente da densidade populacional. Em função do exposto, embora seja necessário um estudo mais aprofundado, já foi possível admitir que a região de merguho da AMAS é fortemente eletrizada e que esta eletrização é dependente das condições solares, embora o mecanismo ainda seja incógnito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sol tem um ciclo de atividade oscilante em torno de 11 anos, a quantidade de energia e as partículas ejetadas em maior ou menor grau variam. Seu campo magnético é variável e modula o campo magnético da Terra. No sul do Hemisfério Sul, sobre grande parte da Região Sul do Brasil, com epicentro sobre a região fronteira oeste dos Estados do Paraná e Santa Catarina, existe uma região onde o campo magnético da Terra tem menor intensidade. Não se sabe ao certo todos os mecanismos envolvidos em tal efeito. Estudos sugerem que dentre as causas do fenômeno, a dinâmica do manto interno do planeta tem forte influência, pelo fato de ser o gerador do “dínamo terrestre”. As deficiências na intensidade do Campo Magnético são denominadas Anomalia Magnética do Atlântico Sul, ou AMAS. O presente trabalho foi norteado por dois objetivos:

O primeiro, a Radiobservação na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Este é necessário para observar os mecanismos de ionização da Ionosfera. Para tal, foi construída uma antena de quadro vertical instalada no município de Curitiba. Foi montada uma estação de transmissão e foram emitidos sinais de RF para duas estações receptoras dotadas de espectrômetros. A primeira se localiza na EACF, Estação Antártica Comandante Ferraz, cujos dados não foram utilizados por estar fora do âmbito da AMAS. A segunda estação está instalada no Sítio Paraizinho, município de Pardinho, Estado de São Paulo. O sistema de recepção, dotado de um software de espectrometria para RF, digitaliza e gera um espectrograma disponibilizando-o pela Internet em tempo real. Foram observadas as variações de propagação e as variações dos ruídos de fundo provindos da Ionosfera. Desta forma, foram observados distúrbios ionosféricos, cujos dados foram comparados aos disponibilizados pelos satélites GOES. Através de contatos e gravações com estações de rádio de diversas localidades do Brasil, foi analisada a variação da propagação na região. Foi observado um evento de fechamento total de propagação de RF, possivelmente causado por uma mancha solar. O black-out foi confirmado por relatos de radioamadores e pelos monitoramentos múltiplos.

O segundo objetivo do trabalho não exigiu construções de equipamentos nem de instalações de estações de rádio. Consistiu na utilização de dados fornecidos pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Assim, através do monitoramento das descargas elétricas, foi observado que a maioria se deu no interior da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Foi investigado o black-out capturado pelos instrumentos e, de acordo com as observações comparadas aos relatos da NASA, possivelmente causado por um Distúrbio Repentino da Ionosfera (SID), que por sua vez, pode ter sido resultante de moderada Massa Coronal Ejetada (CME), esta, infelizmente não foi possível verificar, pois os satélites GOES estavam fora do ar. Assim, a melhor hipótese causadora da SID, foi o surto de RX e elétrons - conforme registrado na aquisição de dados e discutido - que geraram o fenômeno ligado à mancha solar 1007.

Quanto ao estudo das descargas atmosféricas na região da AMAS, foi confirmado durante todo o tempo de observação, que a quantidade das descargas atmosféricas chega a ser absurdamente maior que qualquer outra região do Brasil. Verificou-se que em épocas de tempestades magnéticas, aumentou o índice de ruídos em faixas diversas de RF. Ou seja, foram confirmadas as observações de Edsel de Freitas Coutinho na década de setenta, de que o aumento de ionização nas camadas inferiores, e com sua altitude mínima reduzida, gera um aumento de ruídos e transferência de energia cinética ao meio, possivelmente desencadeante das descargas atmosféricas. A revisão bibliográfica sugere que a altitude de contacto entre partículas pode ser ainda mais reduzida, caso a atividade solar tenha sua intensidade aumentada.

Concluindo, a redução de altitude das camadas iônicas, associadas à redução de altitude do ponto de reflexão das partículas capturadas pelo Cinturão Interno de Van Allen, podem, de forma significativa, gerar forte ionização e colisão de partículas na troposfera na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Isto aumenta a transferência de energia cinética para a Atmosfera, conseqüentemente eletriza-a. Caso não ocorresse este efeito, não haveria aumento de ruídos em RF, pois estes são oriundos da dinâmica de transferência de energias.

Os fatos assim, poderão ser investigados mais profundamente em futuros trabalhos, pois, embora não haja conexão aparente entre a chegada de RX com o índice de descargas atmosféricas na região da AMAS, existe a possibilidade da eletricidade atmosférica ter relação com as partículas que ionizam as camadas mais baixas, e, este supostamente seria o motivo pelo qual o índice de descargas e de ruídos na região da AMAS seja tão elevado.

REFERÊNCIAS

- [1] DEMOREST, P. Dynamo Theory and Earth Magnetic Field. **University of California Review**, Berkeley-CAV101,n.23,p113-131,2001.
- [2] LANGLOIS, V.; TABERLET, N. **Le Noyau Terrestre**. L'Ecole Normale Supérieure de Lyon, Lyon. Disponível em: < [http . //baudolino.free.fr/Noyau/index.html](http://baudolino.free.fr/Noyau/index.html) >
Acesso em: Janeiro de 2008.
- [3] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA **Apollo Experience Report - Protection Against Radiation**. Robert A. English, Richard E. Benson and Charles M. Barnes. Washington, DC.: Manned Spacecraft Center-Houston, 1973.
- [4] CAMPBELL, Bruce A.; MCCANDLESS, Samuel Walter. **Introduction to Space Sciences and Spacecraft Applications** . Houston: Gulf Publishing Company, 1996.
- [5] CHERTOK, Boris. **Rockets and People: Creating a Rocket Industry**. Washington DC.: National Aeronautics and Space Administration, 2006.
- [6] TSIAO, Sunni. **Read you loud and clear! The Story of NASA Spaceflight Tracking and Data Network: Preparing for the Moon**. Washington DC: NASA History Division OfficeofExternalRelations,2008.
- [7] HARTMANN, Gelvam André **A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: Causas e Efeitos**. 153 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Física)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [8] TSIAO, Sunni. **Read you loud and clear! The Story of NASA Spaceflight Tracking and Data Network: A Network in Space**. Washington DC: NASA History Division Office of External Relations, 2008

- [9] RUSSELL, Christopher T.; Reconnection in Planetary Magnetospheres. **The journal Advances in Space Research**, London, v 26, n 3 pp. 393-404, 2000. Disponível em: < <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/ssc/tutorial/magnetopause.html> > Acesso em: Janeiro de 2008.
- [10] TSIAO, Sunni. **Read you loud and clear! The Story of NASA Spaceflight Tracking and Data Network: Endnotes**. Washington DC: NASA History Division Office of External Relations, 2008
- [11] SABOIA, André M.; MARQUES, Gustavo C. **Anomalia Magnética do Atlântico Sul** Seminário realizado na Universidade de Brasília em maio de 2005. Disponível em: < <http://www.scribd.com/doc/40115252/Anomalia-Magnetica-Atlantico-Sul-Marques-Saboia> > Acesso em Setembro de 2009.
- [12] COUTINHO, Edsel de Freitas. Partículas Presas na Região da Anomalia Brasileira **Revista Ciência e Cultura** São Paulo. Vol. 26, n 4, Pgs. 329 a 338, 1974
- [13] CHEN, Francis F. **Plasma physics** Introduction to plasma physics and controlled fusion. New York: Plenum Press, 1974.
- [14] BRUM, Christiano Garnett Marques. **Variabilidade da absorção de ruído cósmico via Riômetro e modelagem numérica dos processos associados..** 2004. 285 f. Tese (Doutorado em Física Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- [15] MATSUOKA, Marcelo Tomio; CAMARGO, Paulo de Oliveira; BATISTA, Inez Staciari; Impacto de Explosões Solares no Comportamento da Ionosfera e no Posicionamento com GPS na Região Brasileira: Estudo de Caso Para o Dia 28 de Outubro de 2003. **Universidade Federal do Paraná-Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, V. 12, nº 2, pg 315-334, jul-dez, 2006.
- [16] LI, Xinlin; TEMERIN, Michael A; The Electron Radiation Belt. **Kluwer Academic Publishers**. Netherlands. February, 2000.
- [17] LAIBIDA JR., Albary, **Teoria Cinética Veicular à La Enskog**. 2009. 88 p. Dissertação (Mestrado em Física) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em:

<<http://dspace.slufpr.br/dspace/bitstream/1a9m>

Acesso: setembro de 12/09/2010

- [18] RUMERMAN, J. A. **NASA Historical Data Book Space Science: 1958 - 1998**, Washington DC: NASA History Division Office of External Relations, 2009.
- [19] BRUN, N. L.; RITCHIE, E. H. **Astronautics and Aeronautics. Scientific and Technical Information Branch, 1975**, Washington DC: National Aeronautics Space Administration - History Division - Office of External Relations, 1979.
- [20] ENGENHO PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E CONSULTORIA LTDA. **Um Novo Olhar sobre a Segurança de Sistemas Elétricos**, PINTO, L.M.V.G.; SZCZUPAK, J.; DRUMMOND, M. A.; MACEDO, L.H. Rio de Janeiro: IEEE, 2002.
- [21] KOPP, Greg; LAWRENCE, George; ROTTMAN, Gary. Solar Flares NASA: The Total Irradiance Monitor: Science Results. **Solar Physics**. New York, n 230, p 129 - 139, May 2005
- [22] HEILMANN, Armando; **Avaliação do Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas em VLF - ZEUS no Brasil**. 2006. 155 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas.) Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: < <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp042442>
- Acesso: Julho de 2008.

APÊNDICES

O presente Apêndice é composto por uma coleção de imagens, compiladas pelo autor a partir de 12 de maio de 2009 até 21 de março de 2010. A finalidade foi a observação da quantidade de descargas atmosféricas na região da AMAS. As datas foram escolhidas ao acaso.

A maior questão era saber se as descargas atmosféricas ocorriam dentro, ou fora da região da AMAS. No início das observações ficou claro que aquelas se davam em quantidade acima do esperado. No decorrer da pesquisa, foi possível verificar que além das descargas atmosféricas, ainda o ruído de fundo era muito acima do normal, conforme estudos realizados a partir do espectrômetro de Pardinho-SP.

As recepções de rádio, além dos dados comparados à partir das estatísticas do ELAT validam a conexão entre as descargas atmosféricas e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Segundo o ELAT - INPE, os processos de eletrização no interior das nuvens ainda é uma incógnita para a ciência. A teoria mais aceita descreve as colisões de diferentes partículas de gelo no interior das nuvens. O modelo procura demonstrar que cargas em torno de cem pico Coulombs nas partículas, supostamente poderiam ser as causadoras de forte eletrização. Muitos pesquisadores aceitam que, o processo seja importante, mas não seria o único, nem o principal.

Devida a complexidade dos movimentos internos às nuvens, a eletrização naquelas poderia ser a partir da interação entre diversos mecanismos, ora principais desencadeadores, ora não. A água super-resfriada, por exemplo, que no local de uma colisão determinaria a polaridade das cargas de cada partícula, e juntamente à alteração de temperatura superficial das partículas de granizo, poderia desencadear processos de eletrização.

Mas, na região da AMAS, a hipótese da geração de cargas a partir de raios cósmicos e por efeito corona, além do vento solar e partículas provindas do Cinturão Interno de Van Allen poderia ser considerado um forte desencadeante do fenômeno. Pois, a transferência de energia cinética na atmosfera superior e ocorrendo uma pressão descendente causada pela própria dinâmica solar, poderia desencadear a eletrização.

As figuras deste apêndice mostram as descargas atmosféricas quantitativamente em datas aleatorias, escolhidas entre maio de 2009 e julho de 2010, período de baixa atividade solar. Com o vento solar constante, ou sem variações abruptas, salvo excessões que foram bastante úteis, provindas de rara atividade solar, foi possível verificar parcialmente a dinâmica eletro-atmosférica.

Em cada mapa foi demarcado o epicentro da AMAS com círculo vermelho, os verdes mostram núcleos de descargas no momento da coleta.

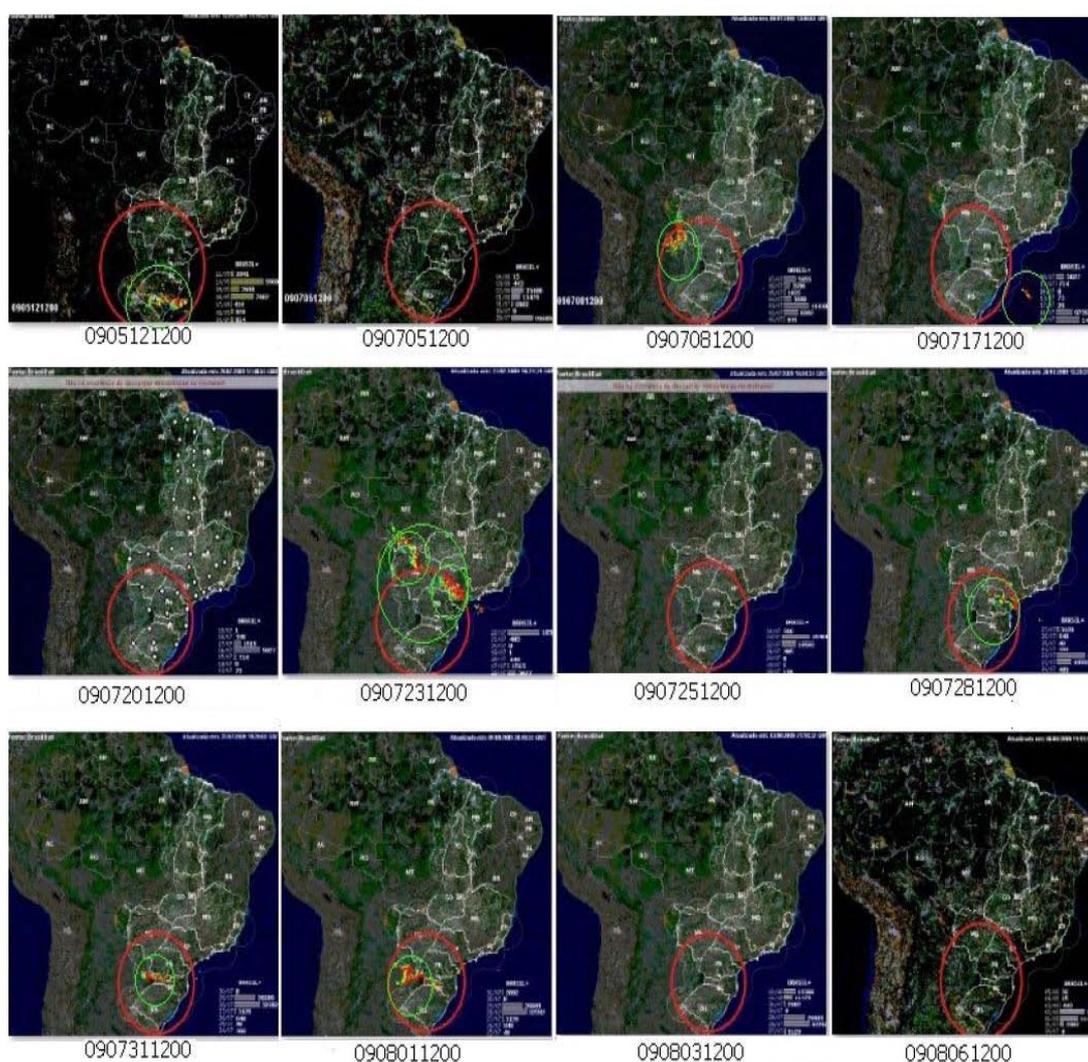


Figura 40: Descargas atmosféricas de 12/05/2009 a 06/08/2009. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas.(Fonte modificada: ELAT-INPE)

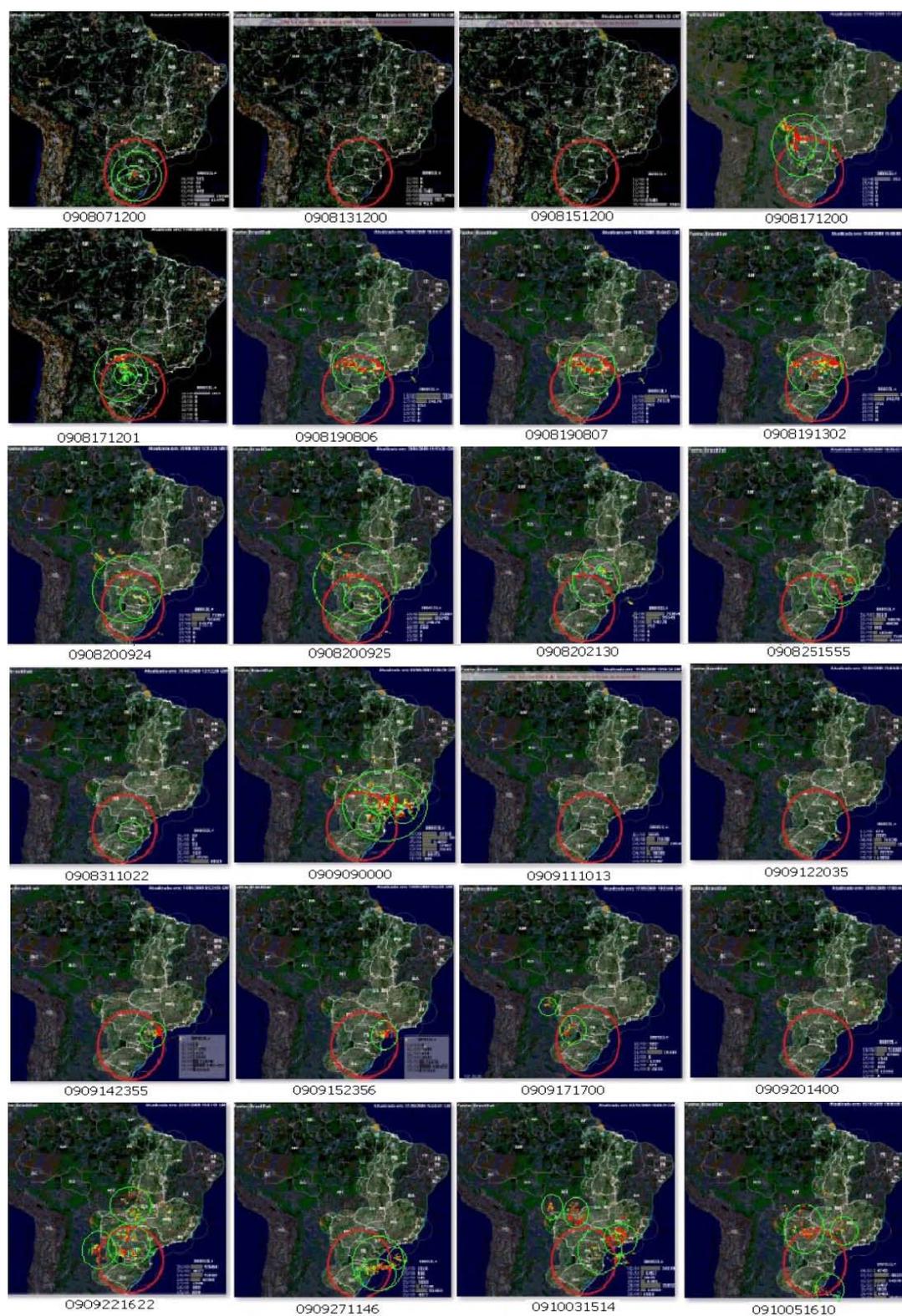


Figura 41: Descargas atmosféricas de 07/08/2009 a 05/10/2009. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)

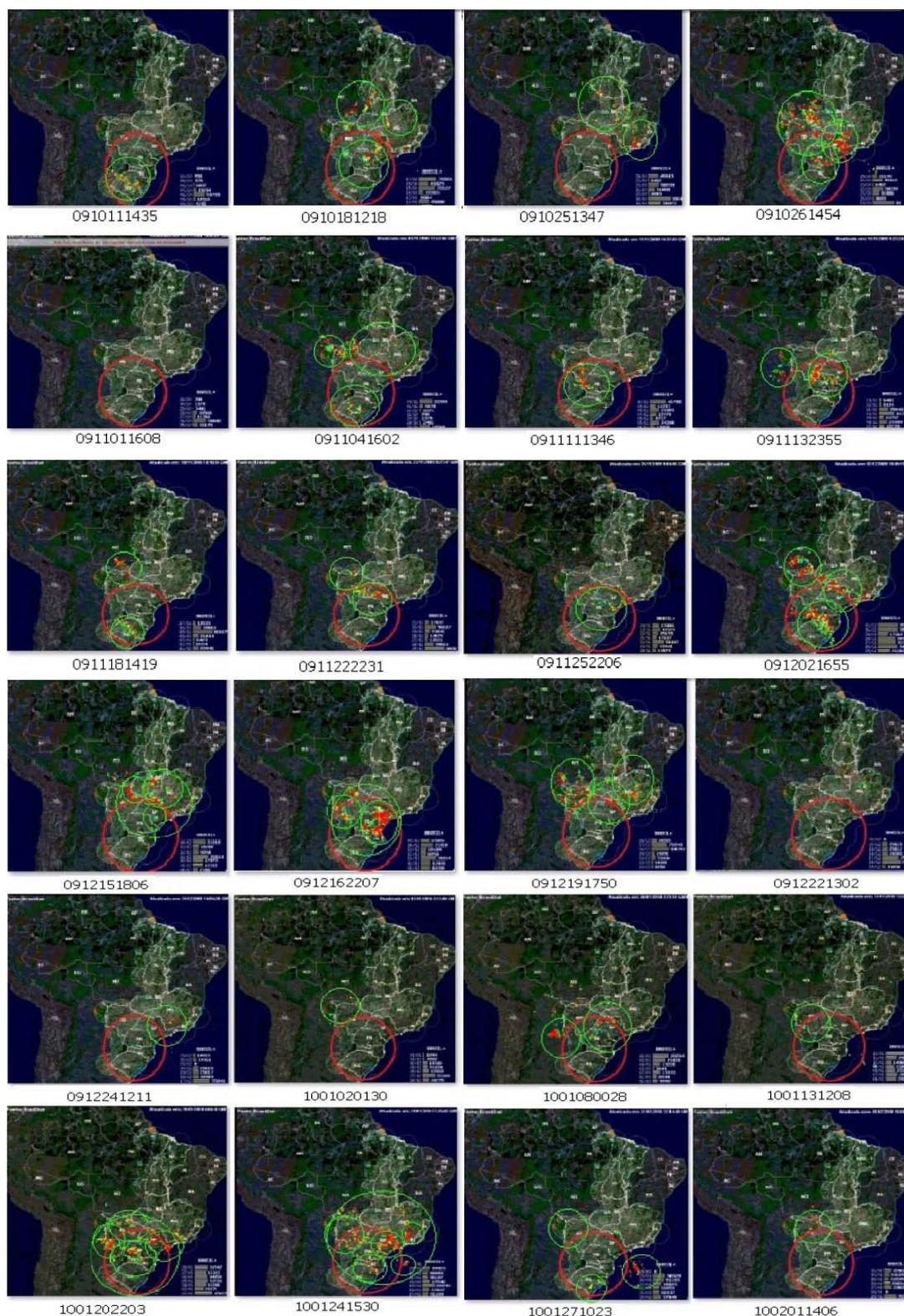


Figura 42: Descargas atmosféricas de 11/10/2009 a 01/02/2010. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)

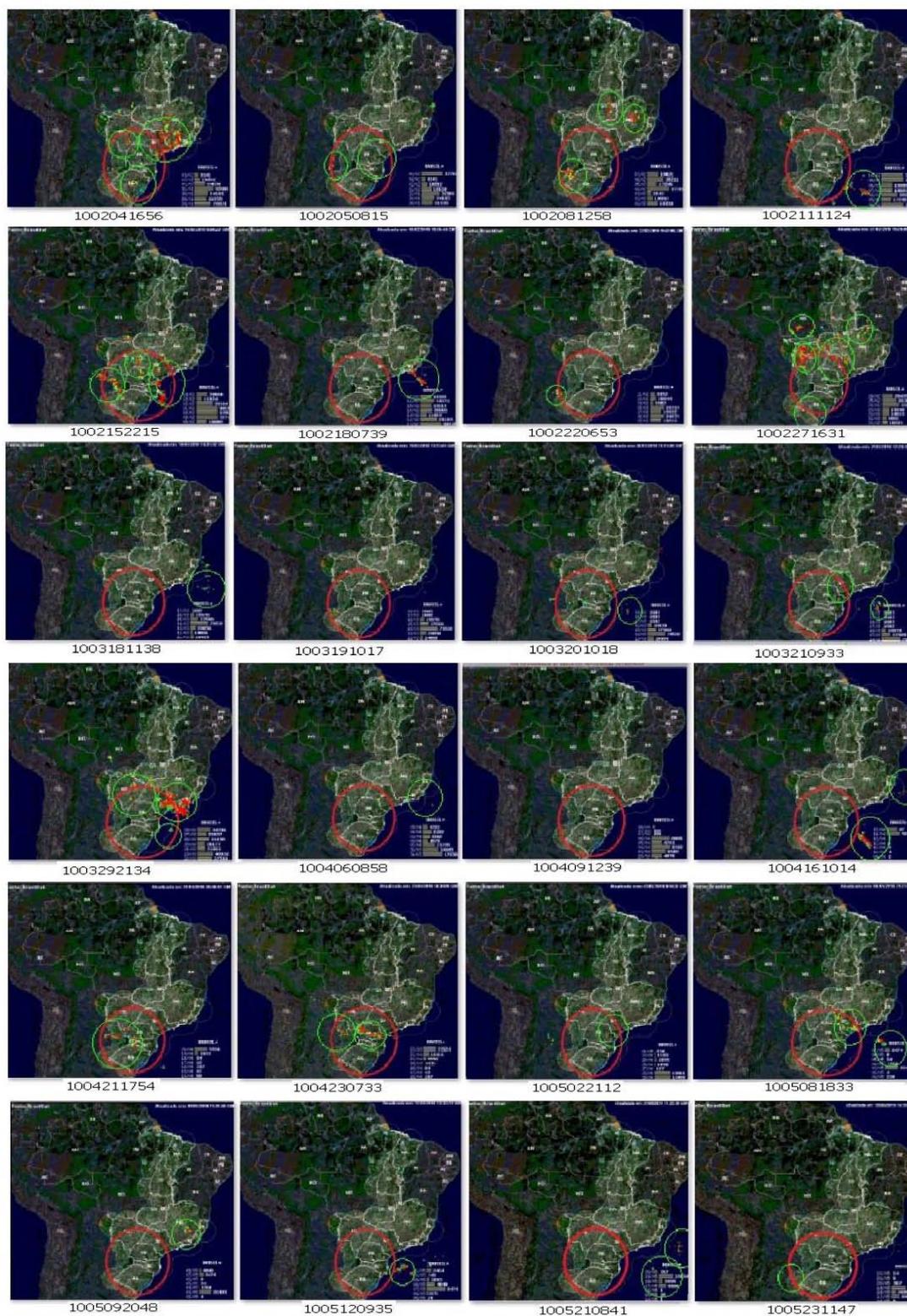


Figura 43: Descargas atmosféricas de 04/02/2010 a 23/05/2010. Os círculos vermelhos mostram o epicentro da AMAS. Os verdes, ocorrências de descargas atmosféricas. (Fonte modificada: ELAT-INPE)

ANEXOS

O presente Anexo é composto por 2 Tabelas retiradas do artigo “INTRODUÇÃO ÀS PARTÍCULAS PRESAS E À ANOMALIA GEOMAGNÉTICA BRASILEIRA”, autoria de Edsel de Freitas Coutinho [12], pesquisador do Instituto de Atividades Espaciais (Atual Instituto de Aeronáutica e Espaço), do Centro Técnico Aeroespacial (Atual Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial), situado em São José dos Campos, falecido em 1979, cujo nome é homenageado no Campus de Pesquisas Geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho, município de Paula Freitas - PR.

O projeto de pesquisas de Edsel de Freitas Coutinho iniciou em 1974, na época contou com grupos de pesquisas do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), da Universidade Makcenzie e do Instituto de Física da Universidade Federal do Paraná. Foram estudados fenômenos de SID (Suden Ionospheric Disturbance) e seus efeitos sobre a ionização da camada D. Também foram estudados efeitos das tempestades magnéticas sobre a camada D e os efeitos associados sobre os raios cósmicos secundários, o que possibilitou o estudo sobre a contribuição desses raios na ionização daquela camada. Outro estudo importante executado no Campus de Pesquisas Geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho, foi sobre o dreno de partículas provenientes do cinturão interior de radiação, por razão da AMAS e seus efeitos na Ionosfera.

Na sequência, foi feita a pesquisa sobre a precipitação de partículas e o estudo da origem e dos principais mecanismos de perdas das populações de partículas pertencentes ao cinturão interno de radiação, além da pesquisa sobre a influência da variação das condições da camada D sobre as ondas de rádio de frequência mais elevadas que VLF, cuja propagação ocorre por reflexão das camadas superiores.

As tabelas elaboradas pela Air Force Cambridge Research Laboratories, juntamente com o Instituto de Atividades Espaciais, a partir do rastreamento de sinais de estações transmissoras de VLF, foram úteis para o estudo do mergulho da AMAS e para a sua comprovação conforme a figura 10 confeccionada em 1972, que, comparada à figura 11 de 2010. Assim, o estudo realizado na época se mostrou ainda atual e comprovou a veracidade do formalismo matemático desenvolvido neste trabalho.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA
 DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
 CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL
 INSTITUTO DE ATIVIDADES ESPACIAIS

1972/07 - AFCRL-AIR-FORCE-CAMBRIDGE-RESEARCH-LABORATORIES, Mass., USA

Tabela 1 - Ionosonda - CPG - Condições de Contorno

Altura- (KM)	L= 1,20		L= 1,15		L= 1,10	
	Latitude- 1	Latitude- 2	Latitude- 1	Latitude- 2	Latitude- 1	Latitude- 2
0	09:45N	30:30S	04:30N	25:00S	01:00S	20:30S
25	10:00N	31:00S	05:00N	25:30S	00:00S	20:30S
50	10:10N	31:15S	06:00N	26:00S	00:00N	20:15S
75	10:15N	31:45S	06:30N	26:15S	00:30S	20:00S
100	10:20N	31:15S	06:20N	26:00S	01:15S	18:00S
150	10:00N	30:00S	06:10N	25:00S	02:30S	17:00S
200	09:45N	29:00S	05:00N	23:00S	05:00S	13:00S
225	08:00N	28:30S	04:00N	22:45S	10:00S	10:00S
250	07:40N	28:00S	03:00N	22:30S	-----	-----
300	07:30N	27:30S	02:30N	22:00S	-----	-----
350	07:10N	27:00S	00:45N	20:00S	-----	-----
400	06:30N	26:00S	00:45S	18:30S	-----	-----
450	05:00N	25:00S	02:00S	17:30S	-----	-----
500	03:10N	24:00S	05:00S	15:00S	-----	-----
550	02:20N	22:30S	10:00S	10:00S	-----	-----
600	01:15N	22:00S	-----	-----	-----	-----
700	01:15S	19:00S	-----	-----	-----	-----
800	05:00S	15:00S	-----	-----	-----	-----
875	10:00S	10:00S	-----	-----	-----	-----
900	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Figura 44: CONDIÇÕES DE CONTORNO - 1972/07 - AFCRL - Air Force - Cambridge - Research - Laboratories - Mass - USA. Valores para a Anomalia Magnética Brasileira. Retirada do artigo: Partículas Presas na Região da Anomalia Brasileira COUTINHO, E.F.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA
 DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
 CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL
 INSTITUTO DE ATIVIDADES ESPACIAIS

1972/07 - AFCRL-AIR-FORCE-CAMBRIDGE-RESEARCH-LABORATORIES, Mass., USA
 Tabela 2 - Ionosonda - CPG - VALORES BM PARA A ANOMALIA MAGNÉTICA BRASILEIRA

Altura- (KM)	Bm= 0,23 Gauss		Bm= 0,24 Gauss		Bm= 0,25 Gauss	
	1	2	1	2	1	2
0	-----	-----	-----	-----	-----	-----
12	-----	-----	-----	-----	25:30S	25:30S
25	-----	-----	-----	-----	20:30S	30:30S
50	-----	-----	-----	-----	15:00S	36:00S
65	-----	-----	26:00S	26:00S	14:00S	37:30S
75	-----	-----	20:00S	31:00S	13:00S	38:00S
100	-----	-----	17:00S	35:00S	12:00S	40:00S
140	25:00S	27:00S	14:00S	36:00S	09:30S	41:00S
150	22:00S	30:00S	13:00S	37:00S	09:00S	41:30S
200	12:00S	34:00S	12:00S	39:00S	07:00S	42:30S
250	08:00S	36:00S	11:00S	40:30S	05:00S	43:30S
300	10:30S	37:30S	07:20S	42:00S	03:00S	45:00S
350	08:00S	39:30S	05:00S	43:00S	02:00S	46:00S
400	06:00S	41:00S	02:30S	44:00S	00:00N	47:30S
500	02:30S	43:00S	00:00N	46:30S	03:00N	48:30S
600	01:00N	46:00S	03:45N	48:00S	07:00N	51:00S
700	04:00N	47:30S	07:00N	50:30S	10:00N	53:00S
800	07:30N	50:00S	10:00N	52:30S	12:30N	55:00S
900	10:00N	53:00S	12:30N	54:30S	15:00N	57:00S

Figura 45: Valores BM para a Anomalia Magnética Brasileira (AMAS) - 1972/07 - AFCRL - Air Force - Cambridge - Research - Laboratories - Mass - USA. Valores para a Anomalia Magnética Brasileira. Retirada do artigo: Partículas Presas na Região da Anomalia Brasileira COUTINHO, E.F.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)