

INPE-5369-TDI/468

**ESTUDOS MULTIESPECTRAIS DAS EXPLOSÕES SOLARES ASSOCIADAS
COM A FASE IMPULSIVA DO FLARE**

Rute Helena Trevisan

**INPE
São José dos Campos
Maio de 1991.**

523.985

TREVISAN, R.H.

Estudos multiespectrais das explosões
solares associadas com a fase impulsiva
do flare. / R.H. Trevisan. -- São José.
dos Campos: INPE, 1991. 204p. --
(INPE-5369-TDI/468)

1. Explosões solares. 2. Ondas de
rádio. 3. Título

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Doutor
em Ciência Espacial

Dr. Rajaram Purushottam Kane

Rajaram P. Kane
Presidente

Dr. Hanumant Shankar Sawant

Hanumant
Orientador

Dr. Sayd José Codina Landaberry

S Codina
Membro da Banca
-convidado-

Dr. Jacques Raymond Daniel Lépine

J Lépine
Membro da Banca
-convidado-

Dr. Walter Demétrio Gonzalez Alarcon

W Alarcon
Membro da Banca

Dr. Eugênio Scalise Júnior

E Scalise Jr
Membro da Banca

Candidata: Rute Helena Trevisan

São José dos Campos, 26 de março de 1991

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5369-TDI/468

ESTUDOS MULTIESPECTRAIS DAS EXPLOSÕES SOLARES ASSOCIADAS
COM A FASE IMPULSIVA DO FLARE

Rute Helena Trevisan

Tese de Doutorado em Ciência Espacial /Radioastronomia
e Física Solar, orientada pelo Dr. Hanumant Shankar Sawant,
aprovada em março de 1991.

INPE
São José dos Campos
Maio de 1991.

523.985

TREVISAN, R.H.

Estudos multiespectrais das explosões
solares associadas com a fase impulsiva
do flare. / R.H. Trevisan. -- São José
dos Campos: INPE, 1991. 204p. --
(INPE-5369-TDI/468)

1. Explosões solares. 2. Ondas de
rádio. 3. Título

*As meus filhas queridos
David, Daniel, Andressa*

*As meus espôsa
Cleiton Joni*

*As meus pais
Ruth
e Nestor (in memorian) .*

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão à todos que estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando a elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Hanumant Shankar Sawant, pelo apoio e incentivo.

À C.J.B. Lattari, pelo auxílio inestimável nas observações, redução de dados, discussões.

Ao Dr. R.P. Kane pelas discussões, e grande incentivo para a elaboração desta tese.

Ao Dr. H. Sobral, pela leitura dos manuscritos e sugestões.

Aos Engenheiros R. Schall, Y. Backor e ao Dr. E. Scalise pelo desenvolvimento do sub-refletor de 1,63 GHz de Atibaia.

Ao Engenheiro Fernando Moraes Santos, pelo auxílio na redução de dados.

Aos Drs. A. Boischot, F. Biraud e C. Roselen pela permissão de uso do receptor de 1,63 GHz utilizado durante o Projeto VEGA em Itapetinga, Atibaia em Junho de 1985.

Aos técnicos do observatório de Atibaia pelo auxílio inestimável durante as observações.

Ao Dr. P. Zlobec. e M.Messerotti pela obtenção e redução de dados obtidos em ondas métricas, pelas proveitosas discussões e pelo estágio no Observatório de Trieste, em Trieste Itália, em Junho de 1986.

Ao Dr. B. Dennis da NASA, pelos dados em raios-X e discussões.

Ao Dr. A. Benz, pelos dados de espectro dinâmico de Zurich, Suíça, e pelas proveitosas sugestões.

À Dra. L. Gestely pelos dados em H- α e suas análises obtidos com o Heliógrafo Optico da Hungria.

Ao Dr.V.P. Nefydev pelas discussões e sugestões nos eventos homólogos, de Sibéria, Rússia.

Ao diretor do Observatório de Tubingen- FRG, pelos dados de espectro dinâmico.

Aos colegas, pela dedicação que sempre me apoiaram, Marcia Cristina, Rute Maria Bevilaqua, Angelo Neri, Nori Beraldo e Veríssimo Manuela de Aquino.

Ao colega Gilberto Carlos Sanzovo, pelas discussões.

Aos professores do Departamento de Física da UEL que me apoiaram .

Meu grande agradecimento às instituições que permitiram que este trabalho fosse realizado : INPE, CNPq, CAPES e à Universidade Estadual de Londrina.

RESUMO

Existem poucos estudos de observações multiespectrais com alta sensibilidade e resolução em tempo/frequência/energia. A importância de tais investigações é que estes estudos nos permitem observar o desenvolvimento do fenômeno associado simultaneamente em várias alturas na atmosfera solar, e do qual podemos obter informações sobre a região de aceleração, propagação de partículas aceleradas na direção da fotosfera, e coroa e emissão causada por essas partículas. Essas informações podem nos explicar melhor os processos de liberação de energia no *flare* solar. Nós investigamos aqui, explosões solares em H- α , raios-X, microondas, ondas decimétricas e métricas, na fase impulsiva do *flare*.

Os estudos simultâneos das explosões solares de ondas milimétricas e métricas e suas estruturas-finas, têm sugerido que as partículas são aceleradas para energias de até ≈ 200 KeV; estruturas-finas são geradas por partículas aceleradas em processos secundários. Além disso aquecimento e aceleração ocorrem simultaneamente no *flare* solar.

As observações foram realizadas com a antena de 13,7 m de diâmetro de Atibaia, pela primeira vez operando na faixa de decimétricas (1663 MHz) com alta sensibilidade e resolução temporal. Nós observamos pela primeira vez: i) *blips* acima de 1000 MHz, ii) explosões homólogos-like em microondas e *spikes* de baixa intensidade de fluxo

As investigações mostraram que *blips* são variantes das explosões tipo III e são geradas pela interação do feixe de elétrons com o plasma, no segundo harmônico. *Spikes* são gerados por ECM, e, assumindo-se a instabilidade MHD as dimensões de fonte são estimadas em ≈ 50 km. Os *flares* homólogos-like de períodos longos de repetição (≈ 40 min), são explicados pela oscilação de proeminência, como também os homólogos de períodos curtos de repetição (≈ 10 s).

Investigações mais detalhadas dessas explosões apresentadas aqui, leva-nos finalmente a sugerir que a energia do *flare* solar é liberada em pequenos volumes e escalas de tempo i.e. ocorre a fragmentação de energia quando o fluxo emergente entra em contato com o campo magnético existente.

MULTISPECTRAL STUDIES OF THE SOLAR BURSTS ASSOCIATED WITH IMPULSIVE
PHASE

ABSTRACT

There are a few studies of multispectral observations with high sensitivity and time/frequency/energy resolution. Importance of such investigations is that these studies allow to see time development of the associated phenomenon simultaneously at various heights in the solar atmosphere, from which one can gather information about the region of acceleration, propagation of accelerated particles towards and away from the photosphere and emission caused by these particles, which can throw light on the processes of liberation of energy in solar flares. Here, we have investigated solar bursts occurring in H- α , hard X-rays, microwave, decimeter and meter wave in impulsive phase of the solar flare.

Simultaneous studies of millimeter-wave and meter-wave bursts and its fine structure have suggested that particles are accelerated up to energies ≈ 200 keV, and λ -meter-wave fine structure is generated by the particles accelerated in a secondary process. Moreover heating and acceleration occurs simultaneously in the solar flare.

Using 13.7 m Atibaia antenna decimetric, 1663 MHz, observations have been carried out for the first time with high sensitivity and high time resolution. We observed for the first time low flux level blips above 1000 MHz, spikes and microwave homologous like bursts.

Investigations showed that blips are variants of type III bursts and are generated by beam plasma interaction at second harmonic. Spikes are assumed to be generated by E.C.M. and, assuming M. H. D. instability, estimated dimensions of radio sources are of the order of 50 km. Oscillations of prominences offer better explanation for long period, 40 minute, homologous bursts and can explain small periodicities of the order of 10 seconds.

More detailed investigations of the bursts presented here, finally lead us to suggest that the flare energy is liberated in a small volume over small time scales i.e. there is fragmentation of energy when emerging magnetic flux comes in contact with the existing magnetic field.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xxiii
CAPÍTULO 1 - FLARES SOLARES E FASE IMPULSIVA.....	1
CAPÍTULO 2 - ESTUDO DAS EXPLOSÕES SOLARES EM ONDAS MILIMÉTRI- TRICAS E EM ONDAS MÉTRICAS TIPO III.....	8
2.1 - Introdução.....	8
2.1.1 - Objetivo deste trabalho.....	9
2.1.2 - O cenário do flare.....	9
2.2 - Os Problemas	10
2.2.1 - Associação de explosões em ondas milimétricas e mé - tipo III.....	10
2.2.2 - Associação de explosões solares em ondas milimétricas e métricas estruturas-finas.....	11
2.3 - Discussão Teórica	11
2.3.1 - Características das explosões solares tipo III.....	11
2.3.2 - Mecanismo de rádio emissão das explosões tipo III....	15
2.3.3 - Características das explosões solares em microondas..	17
2.3.4 - Mecanismo de emissão microondas.....	18
2.4 - Instrumentação utilizada nas observações.....	22
2.5 - Observações e análises	22
2.5.1 - Ondas métricas tipo III e milimétricas.....	23
2.5.2 - Estruturas-finas em ondas métricas associadas com ondas milimétricas.....	27
2.6 - Interpretações anteriores.....	35
2.7 - Interpretações da diferença temporal da frequência de início de tipo III e dados milimétricos.....	38
2.7.1 - Estimativa da distância mínima.....	38
2.7.2 - Cálculo da distância entre a região de aceleração e	

as regiões de emissão.....	41
2.7.3 - Atraso esperado entre as ondas milimétricas e métri - cas tipo III.....	43
2.7.4 - Atraso encontrado entre métricas tipo III e milimé - tricas.....	44
2.8 - Explicação para o atraso no tempo de pico de ondas mi - limétricas em relação à ondas métricas estruturas-finas	46
2.9 - Caso não usual de um-para-um de associação do tempo de pico das ondas métricas e milimétricas.....	47
2.9.1 - Discussão e interpretação do caso não usual.....	49
2.10 - Conclusões.....	51
 CAPÍTULO 3 - INSTRUMENTAÇÃO DECIMÉTRICA DE ALTA SENSIBILIDADE E RESOLUÇÃO TEMPORAL - OBSERVAÇÕES EM 1663 MHz..	 54
3.1 - Observações das explosões solares.....	54
3.2 - O radiômetro de 1663 MHz.....	58
3.2.1 - O receptor de 1663 MHz.....	59
3.2.2- Calibração de antena - Cálculo da eficiência de aber - tura do feixe de antena (ϵ_{AP}).....	59
3.2.3 - Cálculo da temperatura de antena do sol.....	62
3.2.4 - Densidade de fluxo do sol calmo.....	64
3.2.5 - Sensibilidade do receptor de 1663 MHz.....	65
3.3 - Período de observações.....	66
 CAPÍTULO 4 - SPIKES DE MILISEGUNDOS.....	 71
4.1 - Introdução.....	71
4.2 - Aspectos teóricos.....	73
4.3 - Observações.....	78
4.3.1 - Dados obtidos no Brasil-1663 MHz.....	78
4.3.2 - Dados obtidos na Itália-408 MHz.....	79
4.4 - Análise de dados.....	79
4.4.1 - Análise dos spikes em 1663 MHz.....	79
4.4.2 - Análise dos spikes em 408 MHz.....	88

4.5 - Conclusões.....	90
CAPÍTULO 5 - BLIPS DE BAIXO NÍVEL.....	91
5.1 - Introdução.....	92
5.2 - Mecanismo de emissão dos blips.....	94
5.3 - Observações de <i>blips</i> em decimétricas.....	98
5.4 - Análise de dados	99
5.4.1 - Análise temporal dos blips.....	99
5.4.1.1 - Amortecimento colisional.....	101
5.4.1.2 - Amortecimento Landau.....	101
5.4.1.3 - Tempo de subida e de decaimento.....	102
5.4.2 - Número de partículas.....	103
5.4.3 - Temperatura da coroa.....	105
5.5 - Blips em decimétricas e raios-X.....	105
5.5.1 - Mecanismo de emissão de raios-X.....	106
5.5.2 - Observações.....	106
5.5.3 - Interpretação.....	110
5.6 - Conclusões.....	111
CAPÍTULO 6 - EXPLOSÕES TIPO HOMÓLOGOS E HOMÓLOGOS-LIKE	
6.1 - Introdução.....	115
6.2 - Mecanismo de emissão das explosões homólogas.....	118
6.2.1 - Oscilações de proeminências.....	119
6.2.2 - Oscilações de filamento.....	122
6.3 - Observações.....	124
6.3.1 - Explosões homólogas.....	125
6.3.2 - Explosões homólogas-like.....	125
6.3.3 - Explosões H- α associadas.....	128
6.4 - Interpretação.....	131
6.5 - Conclusão.....	134
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS	

7.1 - Necessidades Primárias do Modelo de Flare.....	135
7.1.1 - Armazenamento de Energia.....	135
7.1.2 - Liberação de Energia.....	135
7.1.3 - Aceleração.....	137
7.2 - Modelo do <i>flare</i>	138
7.3 - Fragmentação e liberação de energia.....	140
7.4 - Modelo sugerido.....	142
7.5 - Conclusão.....	143
7.5.1 - Explosões em ondas milimétricas e métricas tipo III..	144
7.5.2 - Estruturas-Finas.....	146
7.5.3 - Radiômetro de 1663 MHz	146
7.5.4 - Blips.....	147
7.5.6 - Homologos.....	148
7.6 - Trabalhos Futuros.....	149
7.6.1 - Observacional.....	149
7.6.2 - Teórico.....	150
7.6.3 - Instrumentação.....	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
APÊNDICE A - EQUAÇÃO COMPLEXA.....	168
APÊNDICE B - MODELO DE SAITO DE DENSIDADES NA COROA	
Fonte:M.Pick , Observatório de Meudon.....	169
APÊNDICE C - INTERVALO COMPLETO DAS EXPLOSÕES DE 408 MHz DE	
TRIESTE.....	206

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Diversas fases de um Flare Solar e radiação acompanhando em várias faixas de ondas (Kane , 1974).....	13
2.2 - Espectro dinâmico de uma explosão tipo III (Wiehl et al., 1985).....	14
2.3 - Diagrama do processo de emissão da radiação eletromagnética por um feixe de elétrons em um plasma (Dulk,1985).....	16
2.4 - Explosão Solar observada em 23 de Novembro de 1982. a)Espectro dinâmico de Tubingen. Os números indicam as explosões tipo III associadas com b) 22 GHz em polarização RC	24
2.5 - Perfis temporais em polarização circular de um grupo de explosões observadas no intervalo de tempo de 14 44:10 - 14 44: 20 UT em a)22 GHz b)237 MHz c)327 MHz e d)408 MHz. Os números indicam os picos associados em milimétricas e métricas.....	26
2.6 - Explosão Solar observada em 22 Nov. 1982 durante o intervalo de tempo 12 23:00 UT à 12 23:30 UT a) e b) exibem o perfil temporal da explosão em 327 e 237 MHz c) é o perfil de intensidade da explosão em 22 GHz em polarização RC, d) no canto esquerdo são mostrados os perfis dos picos em 22GHz e 237 MHz ao redor de 12 23:18 UT, coincidentes ($\Delta t \approx 50$ ms), e atrasados ($\Delta t \approx 150$ ms), se comparados com as estruturas de 237 MHz associadas.....	28
2.7 - Explosão Solar observada em 22 Nov. 1982.a)Perfil temporal em 22 GHz em polarização RC, com constante de tempo de 3 ms b,c,d) Perfis temporais em 237, 327 e 408 MHz, polarização LC, com constante de tempo de 30 ms. No topo, à direita, perfis temporais em 327 MHz e 22 GHz, com um pico atrasado (+ 800 ms) e um adiantado (-740 ms) de milimétrica em relação à métrica.....	29
2.8 - Convenção para as medidas da diferença temporal entre os	

picos de ondas métricas e milimétricas ($\Delta t < 0$: ondas milimétricas adiantadas).....	30
2.9 - Histogramas do número de picos das explosões tipo III associadas com estruturas em ondas milimétricas(22 GHz) versus diferença de tempo de pico entre as explosões tipo III em ondas métricas e ondas milimétricas. a)408, b)327, c) 237 MHz, d) número total de picos associados em métricas tipo III e milimétricas. Nota-se que na maioria dos casos, as explosões tipo III estão atrasadas ($\Delta t < 0$) em relação às estruturas de 22 GHz por $\approx - 500$ ms.....	30
2.10- Estruturas finas tipo III e <i>blips</i> observados a)no espectro dinâmico na faixa de frequência de 90-1000 MHz, mostrando uma emissão de banda estreita na frequência. b)Perfil temporal observado no mesmo tempo, em 22 GHz, com polarização RC e LC.....	32
2.11- Explosão Solar observada em 23 Nov.1982. a) Perfil temporal de 22 GHz em polarização LC, com constante de tempo de 3 ms. b)Resultado da subtração da média corrida da emissão de 22 GHz da emissão original de 22 GHz.c)Perfil temporal de intensidade de 327 MHz em polarização LC com constante de tempo de 30 ms. d) No canto são mostrados picos de 327 MHz e 22 GHz ao redor de 14 03:20 UT que apresentam coincidência e atraso das estruturas em 22 GHz , com estruturas finas em 327 MHz e) O mesmo da fig. 2.11b para 327 MHz.	33
2.12- Histograma do número de estruturas em ondas milimétricas (22 GHz) associadas com estruturas finas em ondas métricas versus diferença no seu tempo de pico a) em 408 MHz b)327 MHz e c) 237 MHz.d) Número total de estruturas finas em ondas métricas observadas em 237 327 e 408 MHz e associadas com 22 GHz. Note que o pico da maioria das estruturas finas em métricas lidera os picos das ondas milimétricas associadas por ≈ 150 ms/.....	34

- 2.13- Comparação dos perfis temporais dos eventos em ondas métricas (169 MHz) e milimétricas (22GHz) mostrando boa correlação temporal nas duas frequências. (Raoult et al., 1989)..... 37
- 2.14 -Posições das fontes em ondas métricas e milimétricas, nos dias 22 e 23 de Nov. 1982. O círculo mostra a posição do feixe da antena de Atibaia (22 GHz), a fonte de emissão em 22 GHz está em F e a fonte de métricas aparece mostrada mostrada no losango. 37
- 2.15- Geometria do modelo proposto para a emissão de ondas milimétricas e asexplosões associadas tipo III (nas frequências de início 327 ou 237 MHz),e os atrasos observados entre as ondas métricas e milimétricas. As explosões tipo III são produzidas por elétrons de 50 Kev após percorrer uma distância d_1 , com velocidade $0,3c$, a partir da região de aceleração, e as ondas milimétricas são produzidas pela precipitação de elétrons de 200 Kev, por emissão girossincrotrônica no loop fechado. 40
- 2.16- Esquema do modelo proposto para a emissão de 22 GHz **ESTRUTURAS-FINAS** em ondas métricas 327 MHz e o atraso no tempo observado entre eles. A aceleração primária ocorre no topo do loop. Os elétrons, precipitando-se para baixo, produzem emissão em ondas milimétricas por mecanismo girosincrotrônico. Entretanto, alguns desses elétrons dirigindo-se para cromosfera, excitam radiação eletromagnética de banda estreita, que escapam para fora do loop confinado, com velocidade c e aceleram os elétrons no tubo de fluxo aberto produzindo estruturas finas. 48
- 2.17- Exemplo de um grupo de explosões tipo III em 237 MHz intensas , correlacionadas com explosões em ondas milimétricas extremamente fracas. Mostra um caso não usual de ondas métricas adiantadas em relação à

milimétricas.....	53
3.1 - Diagrama do Receptor de 1,6 GHz e sistema de aquisição de dados.....	61
3.2 - Localização das Regiões Ativas no período de 7 a 9 de Julho de 1985 (Solar Geophysical Data,1985).....	70
4.1 - Liberação de energia no <i>loop</i> magnético, acelerando elétrons e produzindo uma distribuição isotrópica de elétrons térmicos(10^8 K) ou do tipo <i>power-law</i> ($E \approx 30$ kev).....	74
4.2 - Distribuição de elétrons anisotrópica nas pernas do <i>loop</i> magnético : cone de perda unilateral com nenhum elétron de ângulo de Pich subindo.....	74
4.3 - Função de distribuição de elétrons idealizada no espaço (v_{\parallel}, v_{\perp}).....	75
4.4 - Exemplo de perfis de intensidade temporal de explosões tipo <i>spikes</i> de ms observados em 1663 MHz. a) Um dos <i>spikes</i> de ms mais intensos. b) Explosões tipo <i>spikes</i> em C1 e C2.A explosão tipo <i>spikes</i> -ms em C1 possui o <i>rise-time</i> e a duração total à meia potência aproximadamente igual à resolução temporal do instrumento. c) Uma explosão tipo <i>spike</i> de ms isolada.	80
4.5 - Atividade Solar de <i>spikes</i> de milisegundos observados na frequência de 408 MHz, pelo Grupo de Física Solar de Trieste na Itália (Veja intervalo inteiro no apêndice).....	81
4.6 - Valores correspondentes aos fluxos dos picos nos <i>spikes</i> -ms plotados em função da duração à meia potência, em 1663 MHz. As curvas de temperatura constantes foram traçadas assumindo, para a dimensão da fonte, a duração à meia potência vezes a velocidade de Alfvén.....	85
4.7 - Tempo de decaimento do <i>spike</i> (t_D) em I/e , em função da frequência de observação (Güdel e Benz,1990). O valor de t_D para 1663 MHz está indicado por uma seta. A linha pontilhada indica a lei empírica válida para as explosões tipo III (Alvarez e Haddock,1973).....	86

4.8 - Valores da Duração de Excitação do <i>spike</i> (D_0) em função da frequência de observação (Güdel e Benz, 1990).O valor de D_0 para nossa frequência(1663 MHz) está indicado por uma seta.	86
4.9 - Intensidade de Fluxo versus duração dos <i>spikes</i> de 408 MHz. As curvas de temperatura foram plotadas usando-se para dimensão da fonte , o valor da duração total à meia potência vezes a velocidade de Alfvén.....	91
5.1 - Exemplo de uma explosão tipo <i>Blip</i> . Em a)parece o espectro dinâmico obtido por Benz et al.(1983), associado com b)raios-X obtido pelo HXRB (>30 Kev), SMM-NASA-USA.....	95
5.2 - Exemplos de intensidade dos perfis temporais dos <i>Blips</i> observados em 1,6 GHz a) <i>Blip</i> isolado em polarização R b) Grupo de <i>blips</i> em polarização R e L.....	100
5.3 - Gráfico log-linear do <i>blip</i> isolado o qual está na Figura 5.2a. As barras de erros em T1 e T2 são as incertezas nas medidas de tempo de excitação (T_{exc}) e decaimento (T_D)	104
5.4 - Tempo de decaimento das explosões tipo III (< 500 MHz) em comparação com <i>blips</i> (> 500 Mhz). A curva foi obtida por Alvarez e Haddock(1973). A seta indica o tempo de decaimento em 1663 MHz.....	104
5.5 - Perfil temporal da explosão do tipo <i>blip</i> (1663 MHz) juntamente com explosões de raios-X duros ($E > 20$ kev) Os picos de raios-X estão adiantados de $\approx 350(+/- 150)$ ms em relação aos <i>blips</i>	108
5.6 - a) Correlação cruzada entre os picos de raios-X ($E > 20$ kev) e explosões tipo <i>blip</i> (1663 MHz). O coeficiente de correlação máximo é $\approx 0,7$ e o atraso médio é de ≈ 128 ms b) <u>Linha pontilhada</u> : pico do evento tipo <i>blip</i> configurado na resolução temporal dos raios-X (128 ms). O contorno cheio. é uma média de três pontos do pico do <i>blip</i> . <u>Linha cheia</u> :pico de raios-X duros.....	109
5.7 - Resultado da análise espectral de raios-X uros ($E > 20$ keV) para a explosão no intervalo entre 16 48:50 e 16 48:53 UT.	

- As linhas verticais representam as barras de erro deduzida da observação do número de contagens. As linhas horizontais indicam a banda de energia do detector.....	112
5.8 - a) Explosão de raios-X duros.	
b) Índice espectral versus tempo contado a partir da explosão de raios-X mostrada acima. As barras de erro valem 1 e foram baseadas no número de contagens de raios-X observados em cada intervalo.....	113
5.9 - Explosão tipo <i>blip</i> (1663 MHz) juntamente com explosão em raios-X duros ($E > 20$ keV).....	114
6.1 - Explosão solar em microondas (8mm) das 10:28 UT e das 11:47 UT do dia 29 de Maio de 1981, da região Hale-16864 (Urpo, 1983).....	117
6.2 - Variações no tempo da temperatura de brilhância do pico de duas explosões solares (primária e secundária) em 17 GHz, do dia 31 de Julho de 1981 (Nakajima et al., 1985).....	117
6.3 - Modelo Esquemático de uma proeminência suportada por um campo magnético coronal. O asterisco marca a região de interação do campo magnético.....	121
6.4 - Estrutura do campo magnético na região próxima ao filamento ativo.....	124
6.5 - Atividade da explosão ao redor de 15:43 U.T.....	126
6.6 - Exemplos de explosões homólogas.	127
6.7 - Cinco explosões observadas são colocadas juntas para mostrar similaridade dos registros de intensidade-tempo.....	127
6.8 - Exemplos de explosões homólogas-like descritas na Tabela 6.1	129
6.9 - Grupo de manchas observadas no dia 9 de julho de 1985.....	130
6.10a,b,c - Explosões homólogas conforme foram observadas em fotos H- α , do topo para baixo, às 13:42, 14:25 e 15:34 U.T.	132
6.11 - Modelo convencional das explosões homólogas.....	133
7.1 - Modelo de Fluxo emergente de Heyvaerts et al., 1977.....	139
7.2 - <i>Flare</i> ocorrendo em vários <i>loops</i> complexos.....	140
7.3 - Modelo de <i>Flare Solar de Fluxo Emergente</i> . Quando o fluxo bipolar de linhas fechadas (fluxo emergente) interage com o	

fluxo antigo (de linhas abertas) acelera as partículas perto da região de interação e dentro do loop. As primeiras, saem para cima, ao longo das linhas abertas e originam radiação tipo III, enquanto as partículas aceleradas dentro do loop precipitam-se para os pés do mesmo dando radiação-X e milimétricas. Além disso, geram radiação coerente que saindo fora do loop, aceleram partículas que vão originar radiação métrica estruturas-finas (*blips*)..... 145

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Valores de densidade de elétrons na coroa solar.....	42
3.1 - Classificação das explosões solares decimétricas.....	55
3.2 - Observatórios solares instalados na superfície terrestre para observações das explosões solares e suas principais características.....	58
3.3 - Observações solares em rádio, obtidas em Itapetinga - Atibaia (Brasil) na frequência de 1,6 GHz, e outras atividades	69
6.1 - Explosões homólogas - like.....	128

CAPÍTULO 1

FLARES SOLARES E FASE IMPULSIVA

Chamado pelos astrônomos antigos de *Roseta Stone* ou *Átomo de Hidrogênio da Astronomia*, o Sol é uma estrela na metade de sua vida, mais brilhante e mais massiva que 90% de suas vizinhas e fonte de toda energia na Terra. Sua proximidade nos permite fazer da atmosfera solar um laboratório, para a inspeção dos mais variados fenômenos físicos, tais como: transferência radioativa, espectroscopia, astrofísica de altas energias, relatividade experimental e física de plasma. O Sol, além de nos mostrar o que seria uma estrela distante, de uma massa solar, nos ajuda a compreender a física das fontes de rádio extragalácticas. Ele é uma estrela razoavelmente estável e apresenta variabilidade de energia através de sua liberação (10^{27} a 10^{31} erg) nas explosões solares gigantes - os **FLARES SOLARES** - que produzem radiações, sendo que a maior parte da energia dessas, sai em forma de raios-X. O assunto deste trabalho é a investigação dessas radiações que são produzidas na fase impulsiva do *flare*.

Tomando como base os perfis de raios-X das explosões solares, tais como os de 30 de março de 1969 estudados por Frost e Dennis (1971), identificamos 5 fases diferentes: a) **fase pré-impulsiva** correspondendo ao fenômeno que parece estar ocorrendo antes da detecção da emissão de raios-X duros, b) **fase de pré-flare**, de algumas dezenas de segundos onde uma emissão fraca de raios-X duros é detectada (Benz et al., 1983), c) **fase de flash** que corresponde ao crescimento rápido da emissão de raios-X duros. A duração desta fase é de poucos minutos e, ao conjunto das fases de **pré-flash** e de **flash**, costuma-se dar o nome de **fase impulsiva**, d) **fase gradual**, que dura por algumas dezenas de minutos e é visível acima de centenas de keV., e e) **fase pós-gradual**, correspondendo a uma longa aceleração (de horas) a qual segue a fase estendida de raios-X duros (explosões tipo IV estacionárias) ou a qual

ocorre sem *flares* ópticos associados (tempestades de ruído). Em ambos os casos, nenhuma emissão em raios-X duros é detectada.

As principais características das várias fases do *flare* foram descritas a seguir.

a) Fase pré-impulsiva

A emissão em rádio devido a elétrons energéticos ocorre vários minutos antes que a fase impulsiva tenha sido detetada em alguns poucos *flares* (Gergely e Kundu, 1981; Benz et al., 1983). Isso indica que a aceleração de partículas deve ocorrer antes da fase impulsiva, mas há uma lacuna no estudo das explosões em rádio na fase pré-impulsiva.

b) fase de pré-flare

A aceleração torna-se mais forte durante a fase de *pré-flash*. Essa fase não é sistematicamente detectada em raios-X duros (Benz et al., 1983). Para determinar se a emissão de raios-X duros na fase de *pré-flash* é comum a todos os *flares*, são necessários detectores de raios-X duros com alta sensibilidade e um estudo sistemático da emissão em rádio durante esta fase deve ser efetuado.

Na realidade, na maioria dos *flares* (90%) ocorre somente a fase impulsiva, que é o caso de interesse dos nossos estudos.

c) fase impulsiva

A fase de *flash* corresponde ao grosso da aceleração do elétron e íon e é usualmente detonada quando uma ou várias estruturas magnéticas estão envolvidas em adição àquelas observadas durante a fase de *pré-flash* (Raoult et al., 1985; Machado et al., 1988; Wilson et

al., 1990).

Elétrons com energias acima das relativísticas e íons acima de centenas de meV/nucl são acelerados simultaneamente durante a fase de flah em escalas de tempo de segundos (Chupp, 1984; Yoshimori, 1989). Geralmente há uma coincidência temporal no pico das emissões de raios-X duros e as linhas de emissão de raios gama, mas para alguns eventos o atraso ocorre poucos segundos ou poucas dezenas de segundos mais tarde do que o precedente (Yoshimori, 1989). Isso foi tomado por vários autores como um indicativo para um processo de aceleração em duas etapas. Por outro lado, têm sido mostrado que tais atrasos podem ser devido a efeitos de propagação. (Vilmer et al., 1982; Hulot et al., 1989).

Os spikes de milisegundos são observados em rádio e em raios-X duros em cerca de 10 % dos eventos impulsivos (Kiplinger et al., 1983; Benz, 1985; Stähli e Magun, 1986; Güdel e Benz, 1990) o que é usualmente, uma evidência da fragmentação da liberação de energia (Benz, 1986).

Várias observações sugerem que durante a fase impulsiva o local da aceleração se situa na coroa solar, em regiões onde a densidade vale de 10^9 à 10^{10} cm^{-3} . Os principais argumentos para isto são: a) a similaridade entre os eventos em raios-X e os spikes em ondas de rádio, sendo que os spikes são observados em ondas de rádio na faixa de frequência de 600 MHz à 3 GHz (Benz e Kane, 1986), b) o comportamento sistemático dos drifts em frequência das explosões em rádio tipo III-like que indicam que nas frequências menores que 800 MHz ($N_e < 2 \times 10^9$ cm^{-3}) o feixe de elétrons propaga-se para cima (Benz e Zlobec, 1978; Elgaroy, 1980; Aschwanden e Benz, 1986) enquanto que em altas frequências, maiores que 3 GHz ($N_e > 2 \times 10^{10}$ cm^{-3}) eles se propagam para baixo, na direção da fotosfera (Stahli e Benz, 1987).

A erupção de filamento e a liberação impulsiva de energia são coordenadas e dirigidas para provocar a instabilidade de toda a configuração de campo magnético. Quando o movimento eruptivo da massa atinge uma velocidade de 100 km/s, inicia-se um novo modo de liberação de energia (Kahler et al., 1988).

d) fase gradual

* A aceleração da fase gradual envolve uma estrutura magnética complexa, grandes volumes da coroa e contínua liberação de energia (Trottet, 1986). Devido à lacuna no estudo sistemático de emissão em rádio durante esta fase, não há nenhuma evidência clara da fragmentação da liberação de energia e, como essa fase é detonada ainda não é entendido. Ao contrário da fase impulsiva, muitos dos íons acelerados escapam da atmosfera solar (Cliver et al., 1989). Esse fato sugere que as fases impulsiva e gradual correspondem, ambas, à diferentes processos de aceleração ou a condições físicas diferentes no local de aceleração. Todavia, nenhuma das fases parece ter qualquer correlação forte; i.e., a presença e as características de uma delas não influencia a outra. Na verdade, a) a maioria das explosões mais impulsivas não são seguidas por uma explosão gradual e, b) explosões graduais foram observadas sem explosões impulsivas precedentes (Tsuneta et al., 1984; Ohki et al., 1983; Kai et al., 1983; Kai et al., 1986).

* Ao contrário do que se acredita, a larga escala de ondas de choque coronal (associada com emissão rádiotipo II), dirigida pela fase impulsiva, acelera as partículas necessárias para produzir as explosões graduais em raios-X duros (Frost e Dennis, 1971) e eventos de partículas interplanetárias (Reames, 1988). Há uma forte evidência de que estes choques têm pouca ou nenhuma influência na produção de partículas de altas energias. Na verdade, a) alguns eventos impulsivos em raios-X duros os quais estão associados com os bursts tipo II

ocorrem sem fase gradual e partículas interplanetárias (Klein et al., 1988); b) apesar de se originar em locais diferentes, as emissões métricas e decimétricas em rádio e emissão em raios-x possuem tempo de início e duração que independem da ocorrência dos bursts tipo II (Klein et al., 1983); as explosões graduais em raios-X duros e em microondas ocorrem, algumas vezes, sem as explosões tipo II, ou várias dezenas de minutos após as de tipo II (Kai et al., 1986).

e) fase pós-gradual

* Aceleração longa, de horas, ocorrendo após a fase gradual ou da ausência dos *flares* ópticos são respectivamente associados com os eventos tipo IV estacionários e tempestades de ruído. Essas emissões em rádio têm propriedades similares, ambas consistem de emissão contínua e de eventos tipo I de largura de banda estreita. As explosões tipo I devem ser consideradas como local e micro aceleração de elétrons mas o contínuo não é o resultado da acumulação das liberações discretas de energia observadas (Elgaroy, 1977). Mesmo que a longa produção de elétrons não-térmicos não seja ainda entendida, há algumas indicações que elas sejam acionadas num modo similar ao da fase impulsiva (Kerdrakon et al., 1983).

Acredita-se que uma parte significativa da energia do *flare* é liberada na forma de partículas de altas energias durante a fase impulsiva. Porém, as propriedades dessas partículas não são muito bem conhecidas. Por exemplo, sua distribuição de velocidades é térmica ou não-térmica? Como elas são produzidas, por aquecimento ou aceleração?

Como não podemos detectar estas partículas na superfície do Sol, podemos somente observar sua emissão do solo ou do espaço interplanetário, ou as partículas que escapam do Sol. Esse é o meio básico de se entender estas partículas.

As emissões mais intimamente relacionadas à essas partículas de altas energias, e que são estudadas neste trabalho, são: emissões H- α , raios-X duros, microondas, ondas decimétricas, e métricas. Um dos principais problemas para os teóricos, é tentar relacionar as quantidades observacionais dessas emissões com as partículas de altas energias. Todas estas emissões são detectadas durante a fase impulsiva, portanto elas são de característica impulsiva; isto é, elas possuem perfis temporais oscilando rapidamente.

As primeiras sugestões de estudos de emissão multiespectral da fase impulsiva do *flare*, foram dadas durante o Skylab Workshop on Flares (Moore et al., 1980). Neste trabalho, fizemos pela primeira vez, observações e investigações multiespectrais simultâneas (ondas H- α , raios-X duros, milimétricas, decimétricas e métricas) das componentes das explosões solares observadas na fase impulsiva do *flare* solar, com precisão de tempo absoluto menor que 100 ms, com alta sensibilidade e alta resolução temporal.

Nos próximos capítulos, investigamos as explosões que ocorrem na fase impulsiva do *flare*:

a) investigação simultânea das explosões em ondas milimétricas cromosfera, associadas com ondas métricas tipo III e estruturas finas, que ocorrem coroa solar, com resolução temporal de 30 ms;

b) instrumentação e observações de ondas decimétricas (1663 MHz) com alta sensibilidade e alta resolução temporal, que ocorrem nas proximidades da região de aceleração de partículas e de liberação de energia. Não havia observações nessa faixa de frequência com alta sensibilidade e resolução temporal;

c) explosões tipo *spike*, em ondas decimétricas de baixa intensidade em 1663 MHz e 408 MHz;

d) explosões tipo *blip*, observados pela primeira vez em ondas decimétricas e sua correlação com raios-X duros;

e) explosões tipo *homólogos* e *homólogos-like*, em ondas decimétricas associadas aos *flares* homólogos, observadas na emissão H- α .

Essas investigações das explosões solares ocorrendo na fase impulsiva do *flare*, sugerem :

1) um possível mecanismo de emissão de vários tipos de explosão e seus parâmetros;

2) processos de aceleração de partículas, e dimensões da fonte de liberação de energia no *flare*;

3) o envolvimento de vários *loops* nas várias alturas do mesmo *flare*, e

4) a permanência da mesma topologia magnética após o *flare*, por várias horas.

Esses estudos são favoráveis à fragmentação de liberação de energia na fase impulsiva do *flare* solar.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DAS EXPLOSÕES SOLARES EM ONDAS MILIMÉTRICAS E EM
ONDAS MÉTRICAS TIPO III.

2.1 - INTRODUÇÃO

As medidas simultâneas das características da radiação em ondas métricas e microondas, emitida por elétrons energéticos nos *flares* solares, fornecem informações indispensáveis para a compreensão dos mecanismos de aceleração de elétrons e liberação de energia.

O estudo das explosões solares em ondas métricas-geradas na coroa solar, obtidas com alta sensibilidade e alta resolução temporal, relacionadas com explosões em ondas milimétricas -geradas na cromosfera, obtidas simultaneamente, pode nos dar informações sobre o mecanismo de geração da radiação e sobre a região de aceleração de elétrons. Além disso, pode fornecer informações sobre a sequência do fenômeno que ocorre à diferentes altitudes.

Na literatura atual, existe pouco estudo sobre explosões solares com alta **sensibilidade** e alta **resolução temporal**: em raios-X (Orwig et al., 1981), em milimétricas (Kaufmann et al., 1982b) simultaneamente em raios-X e milimétricas (Kaufmann et al., 1983) e em raios-X e microondas (Cornell et al., 1984). Kosugi, 1981 e Kane et al. (1982) realizaram investigações simultâneas de raios-X, ondas milimétricas e ondas métricas das explosões solares obtidas com resolução temporal de 0.5 s, notando que os picos destas três emissões coincidiam dentro de ≈ 1 s. Entretanto, existe uma lacuna nas investigações simultâneas das explosões em ondas milimétricas e métricas com alta sensibilidade e resolução temporal, e tempo absoluto melhor que 0,5s. Essa falta de informações motivou o início

de um programa de investigações conjuntas entre Brasil e Itália.

2.1.1 - OBJETIVO DESTE TRABALHO

Os problemas pertinentes ao estudo das explosões solares em ondas milimétricas (22 GHz) e métricas tipo III na frequência de início (237, 327, 408 MHz), mais o estudo das estruturas-finas em ondas métricas, nos trazem considerações teóricas sobre a explicação de adiantamento/atraso/coincidência dos picos das explosões em ondas métricas em relação à milimétricas. Além disso, temos informações quanto a :

a) mecanismo de emissão, por exemplo, térmico ou não térmico das explosões em ondas milimétricas;

b) no caso de ondas métricas , interação de feixe de elétrons com plasma da coroa solar em relação à frequência de início;

c) processo de aceleração, e ou aquecimento , e

d) energia das partículas .

Neste trabalho, apresentamos pela primeira vez, uma associação das explosões solares pico-a-pico, altamente polarizada(45% de polarização circular R de eventos tipo III (≈ 1 s) em ondas métricas na frequência de início (237, 327, 408 MHz), com eventos em ondas milimétricas (22 GHz), circularmente polarizadas e com **precisão temporal absoluta** melhor que 100 ms.

2.1.2 - O CENÁRIO DO FLARE

Em resumo, podemos dizer que a emissão métrica e milimétrica ocorre quando alguns elétrons de alta energia, ao serem acelerados no topo do arco magnético, precipitam-se no *loop* a distância de 10^3 km na direção da cromosfera, e começam a produzir emissão microondas pelo mecanismo de emissão girosincrotrônica. Alguns elétrons acelerados que podem escapar ao longo das linhas de campo magnético abertas, propagam-se para fora, na coroa, numa distância maior que 10^4 km e com velocidade $0.3c$, onde c é a velocidade da luz. A interação do feixe de elétrons com o plasma da coroa solar contribui para que sejam produzidas emissões tipo III na frequência fundamental e/ou no segundo harmônico. Nesse cenário convencional do *flare*, o pico da explosão tipo III na frequência de início deveria estar atrasada de $\approx 1,5$ s em comparação com a estrutura de ondas milimétricas no tempo.

2.2 - OS PROBLEMAS

2.2.1 - ASSOCIAÇÃO DE EXPLOSÕES EM ONDAS MILIMÉTRICAS E MÉTRICAS TIPO III

O estudo simultâneo de explosões em ondas milimétricas (22 GHz) e métricas tipo III-frequência de início (237 e 327 MHz) foi realizado através de medidas precisas do tempo de pico dessas explosões e da diferença relativa de tempo entre elas, com precisão temporal absoluta maior que 100 ms. Foram selecionados eventos tipo III-métricas nas frequências 237, 327 e 408 MHz, que foram observados pelo grupo de Física Solar do Observatório de Trieste. As explosões em 22 GHz foram observadas no Rádio Observatório de Itapetinga - Atibaia, pelo pessoal do departamento de Astrofísica (Radioastronomia) do INPE.

Para as estruturas tipo III mais lentas (≈ 1 s), as diferenças observadas no tempo de pico da explosão tipo III-frequência

de início (237, 327 e 408 MHz), e a emissão de ondas milimétricas associada, estão no intervalo de $\pm 1s$, ou seja, quase três vezes menor do que o valor esperado teoricamente. Na maioria dos casos, os picos das explosões tipo III estão atrasados de ≈ 500 ms se comparados com os das explosões milimétricas associadas. Ocorrem também coincidências temporais entre os picos das duas explosões e, em alguns casos, os picos das explosões tipo III estão adiantados em relação aos das explosões em milimétricas por ≈ 300 ms, ao contrário do que se aceita teoricamente (Sawant et al., 1984).

2.2.2 - ASSOCIAÇÃO DE EXPLOSÕES SOLARES EM ONDAS MILIMÉTRICAS E MÉTRICAS - ESTRUTURAS FINAS

As estruturas finas em ondas métricas com banda estreita em frequência e duração de ≈ 300 ms, foram encontradas frequentemente em associação com estruturas milimétricas no tempo, e a diferença entre os tempos de pico dessas estruturas foi, em média, de ± 150 ms. Na maioria dos casos, os picos de estruturas em ondas milimétricas estavam atrasados em relação às estruturas finas por 150ms. Essas diferenças observadas no tempo são três vezes menores do que aquelas observadas no caso das explosões tipo III, se a emissão de estruturas finas em ondas métricas estiver no primeiro harmônico; e seis vezes menores se estiver no segundo harmônico; e, na maioria dos casos, de sinal oposto; isto é, as ondas métricas aparecem antes das milimétricas.

2.3 - DISCUSSÃO TEÓRICA

2.3.1 - CARACTERÍSTICAS DAS EXPLOSÕES SOLARES TIPO III

As explosões tipo III (500-10 MHz), e milimétricas de $f > 10$ GHz, estão frequentemente correlacionadas com os flares (Figura 2.1; Kane, 1974), ocorrendo na fase impulsiva do mesmo (Svestka, 1976), com abrilhantamentos em H- α . A figura mostra na parte superior, a

representação esquemática do espectro dinâmico das explosões que ocorrem nas várias escalas de frequência em microondas, e em seguida, os perfis temporais das explosões em rádio, H- α , ultravioleta, raios-X e raios- γ . As várias fases do *flare* (precursor - impulsiva - estendida) estão assinaladas na parte inferior.

As explosões em ondas métricas tipo III originam-se na coroa solar, no local ou acima da altura onde a frequência de plasma local é menor do que a frequência de emissão.

As explosões tipo III são as mais freqüentemente observadas por rádio espectroscopia no intervalo de frequência de $1\text{GHz} \geq f \geq 10\text{ MHz}$. A principal característica é a sua emissão - normalmente é observada mais no segundo harmônico que no fundamental. Começa em frequências altas e desloca-se rapidamente para baixas frequências com $df/dt \approx 0,01 f^{1,84}\text{ MHz/s}$, onde f é a frequência de observação (Alvarez e Haddock, 1973). O *drift-rate* (df/dt) típico das explosões tipo III é de 400 MHz/s (Benz e Zlobec, 1978). A Figura 2.2 mostra um exemplo de explosão tipo III no espectro dinâmico (Wiehl et al., 1985), na faixa de frequência de 1000-350 MHz.

A frequência de emissão das explosões diminui devido ao decréscimo da densidade de elétrons e frequência de plasma ao longo das linhas de campo magnético abertas, de dentro para fora da coroa solar. Portanto, as explosões de baixa frequência devem originar-se em altitudes maiores do que aquelas em altas frequências (Wild et al., 1969).

- Existe uma correlação entre o grau de polarização das explosões tipo III e o *drift-rate*, e essa correlação cresce com o aumento da polarização (Benz e Zlobec, 1978).

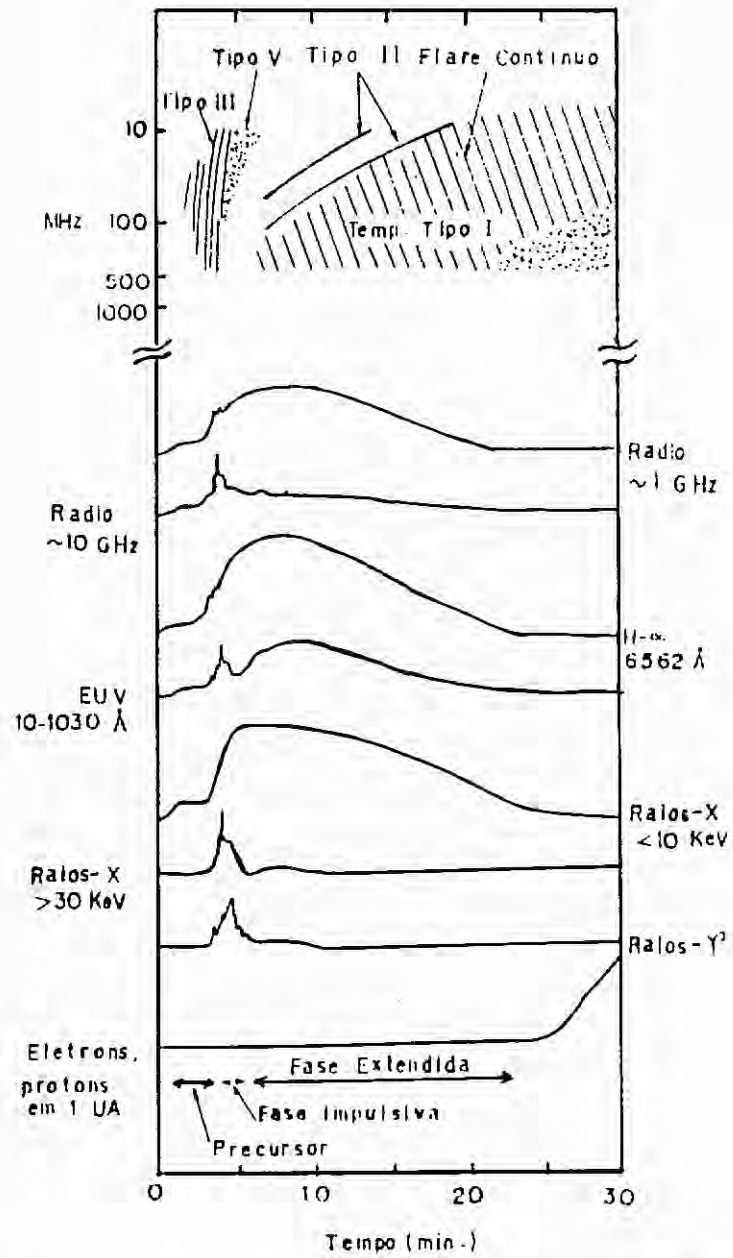


Fig. 2.1 - Diversas fases de um Flare Solar e radiação acompanhando em várias faixas de ondas.

Fonte: Kane , 1974, p. 12.



Fig. 2.2 - Espectro dinâmico de uma explosão tipo III.

Fonte: Wiehl et al., 1985, p.13

As explosões tipo III raramente ocorrem isoladas. Normalmente ocorrem em grupos de 10 ou mais. Sua duração varia com o inverso da frequência, sendo que o tempo de subida (*rise-time*) do evento geralmente é menor que o tempo de descida (*fall-time*) (Elgaroy e Lygstadd, 1972). A temperatura de Brilhância das explosões tipo III fica entre 10^9 e 10^{10} K.

2.3.2 - MECANISMO DE RÁDIO EMISSÃO DAS EXPLOSÕES SOLARES TIPO III

O mecanismo de emissão das explosões tipo III, assim como para a maioria das explosões solares métricas, é o mecanismo de emissão plasma (MEP). A teoria moderna do MEP aparece resumida na Figura 2.3, e baseia-se na teoria de Ginzburg e Zheleznyakov (1958), com apenas algumas alterações nos detalhes dos processos. O diagrama mostra o processo de emissão da radiação eletromagnética por um feixe de elétrons de baixas energias (50 - 100 keV) em um plasma (Dulk, 1985). O feixe de elétrons desloca-se na coroa, de baixo para cima, seguindo as linhas abertas de campo magnético, com velocidade $0.3c$, e gera oscilações de plasma, as ondas de Langmuir. Elas crescem com coeficientes de absorção negativos devido à efeitos quase lineares após chegar à altitude certa, onde o feixe começa a gerar a frequência de início de tipo III. O mecanismo básico para as turbulência de Langmuir é a instabilidade *Bump in the Tail*, onde se tem uma distribuição média de velocidades com deficiência em partículas apresentando v_{\perp} pequeno ou, em partículas com ângulo de pitch reduzido (Melrose e Dulk, 1982).

As ondas de Langmuir são então :

a) espalhadas por íons térmicos e/ou por ondas de baixa frequência (ondas íon-acústicas) em ondas transversas, que originam a radiação na frequência igual à de plasma local;

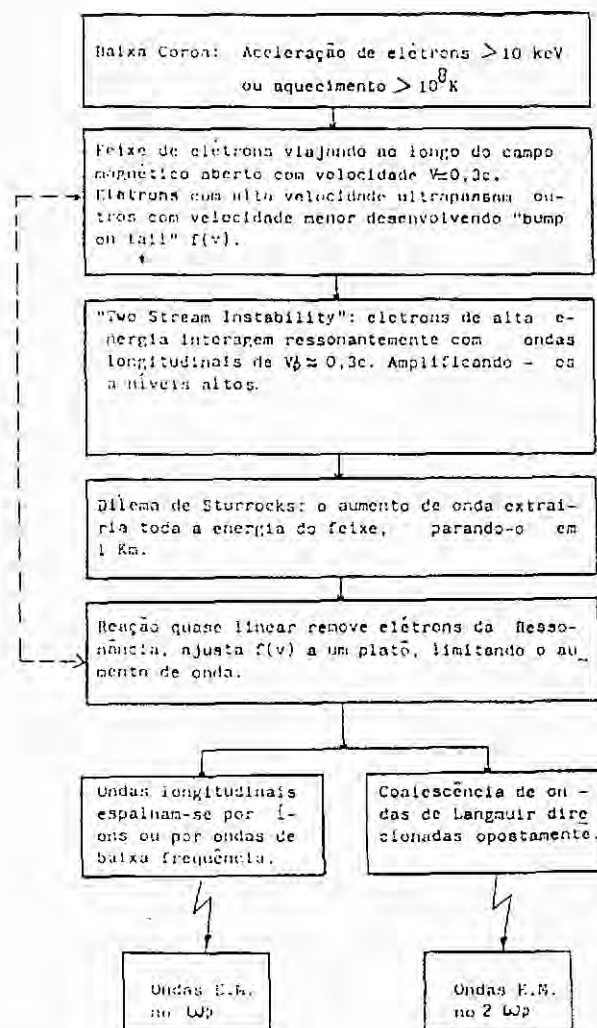


Fig. 2.3 - Diagrama do processo de emissão da radiação eletromagnética por um feixe de elétrons em um plasma.

Fonte: Dulk, 1985, p. 16.

b) coalescência das ondas de Langmuir direcionadas opostamente originando ondas transversas no segundo harmônico.

Devido ao decréscimo da densidade eletrônica e, em consequência disso, a frequência de plasma diminui nas camadas mais externas da atmosfera solar, e as radiações de menores frequências são geradas nas camadas mais altas da coroa solar.

2.3.3 - CARACTERÍSTICAS DAS EXPLOSÕES SOLARES EM MICROONDAS

As explosões em microondas (1 à 90 GHz) originam-se geralmente na baixa coroa solar e cromosfera, onde uma distribuição de elétrons de altas energias (≥ 200 keV) acelerados no topo do arco magnético, precipita nos pés do loop magnético fechado e produz radiação em microondas pelo mecanismo girossincrotrônico.

Elas são classificadas de acordo com suas características temporais e de intensidade:

1) faixa de frequência : 1- 90 GHz ;

2) duração : curta, < 10 min (de 100 ms a 1 min na fase impulsiva e de 1 a 10 min na fase gradual), sendo que o *rise - time* (tempo de subida) e *fall-time* (tempo de decaimento), varia de acordo com o tempo total. Na maioria dos casos, o tempo de subida é menor do que o tempo de decaimento;

3) temperatura de Brilhância : na fase impulsiva : 10^6 a 10^9 K, na fase gradual de 10^7 a 10^{10} K. Intensidade: de 0,1 a 10^4 u.f.s. (1 u.f.s. = uma unidade de fluxo solar = 10^{-22} W/m²Hz) na fase impulsiva/gradual respectivamente;

4) polarização: varia entre despolarizado e 100 % polarizado circularmente ;

5) fontes: o mecanismo de emissão é o girossincrotrônico onde, para frequências > 10 GHz são opticamente finas e, para $f < 10$ GHz, opticamente espessas. O tamanho da fonte geralmente aumenta com o decréscimo da frequência. Na fase impulsiva varia de 1'' a 40'' e a fase gradual de 1' a 5'.

2.3.4 - MECANISMO DE EMISSÃO MICROONDAS

O mecanismo de emissão em microondas mais aceito é o girossincrotrônico, porque uma distribuição de elétrons dentro do *loop* magnético, tanto na forma *power-law* como na forma exponencial pode emitir radiação girosincrotrônica se o campo magnético for ≥ 100 Gauss (Holt e Ramaty, 1969; Takakura, 1972; Ramaty e Petrosian, 1972; Dulk et al., 1979). A emissão girosincrotrônica de elétrons não relativísticos está concentrada na girofrequência $\Omega_e = e \times B / m_e c$ e seus harmônicos (e é a carga do elétron, m_e a massa do elétron, B o campo magnético e c a velocidade da luz).

2.3.4.1 - EMISSÃO GIROSINCROTRÔNICA DE ELÉTRONS TÉRMICOS

No caso de distribuição de elétrons no plasma ser térmica (distribuição maxwelliana de elétrons e distribuição de ângulos de *pitch* isotrópica, para cada modo de onda nós teremos pela lei de Kirchoff

$$T_{\text{eff}} = T_e , \tag{2.1}$$

$$\eta_f = K_f k T_e (f^2 / c^2) ,$$

onde: T_{eff} - temperatura efetiva das partículas radiantes;
 T_e - temperatura eletrônica;
 η_f - emissividade ($\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1} \text{Hz}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{erg}$);
 K_f - coeficiente de absorção linear (cm^{-1});
 f - frequência (Hz) , e
 c - velocidade da luz (cm/s),
 k - constante de Boltzmann

sendo que os coeficientes de emissão e absorção foram calculados analiticamente (Trubnikov, 1958) e numericamente (Mätzler, 1978).

O comportamento de uma fonte térmica é descrito pelo espectro de radiação e é caracterizado pelo significado do índice espectral ($\alpha(f)$), dado por:

$$\alpha(f) = d \log S(f) / d \log f \quad , \quad (2.2)$$

onde S é a intensidade de fluxo magnético.

No intervalo opticamente fino ($\tau < 1$), $\alpha(f) = -8$ (Matzler, 1978), onde τ é o caminho óptico.

A frequência de pico para o modo x (frequência onde S é máximo e $\tau = 1$) foi descrita por Batchelor (1984) e vale

$$f_{\text{max}} = 1,4 (N_e z/B)^{0,1} (\text{sen } \theta)^{0,6} T_e^{0,7} B \quad (2.3)$$

$$10^8 \text{K} \leq T_e \leq 10^9 \text{K} \quad , \quad e$$

$$f_{\text{max}} = 475 (N_e z/B)^{0,05} (\text{sen } \theta)^{0,6} T_e^{0,5} B \quad (2.4)$$

$$10^7 \text{K} \leq T_e \leq 10^8 \text{K} \quad ,$$

onde N_e - densidade eletrônica ;
 B - campo magnético;
 θ - ângulo entre o campo magnético e a linha de visada;
 T_e - temperatura de elétrons , e
 z - dimensão da fonte .

As equações 2.3 e 2.4 dão uma relação entre parâmetros físicos e parâmetros observáveis da fonte, tais como T_e e B ; isto é, se temos T_e no espectro de raios-X duros, então f_{\max} pode ser usada para calcular o campo magnético B já que os raios-X duros são gerados pela mesma população de elétrons que geram as ondas milimétricas.

A frequência de corte inferior (f_{\min}) é outra frequência característica do espectro de densidade de fluxo, e pode corresponder à auto-absorção, giro-absorção térmica ou efeito Razin - supressão de emissão às baixas frequências. No efeito Razin, o fenômeno de absorção devido à pequena razão entre a velocidade de fase da luz no plasma, a qual é maior que c ; para $f < 20 \eta_e/B$ ocorre a supressão da emissão.

Acima de 3 GHz (Gary e Hurford, 1988), a emissão giro magnética destaca-se em regiões ativas de altas intensidades de campo magnético; e, para frequências mais altas ainda, a emissão girossincrotrônica só aparece para regiões de altíssimas densidades e campos magnéticos.

2.3.4.2 - EMISSÃO GIROSSINCROTRÔNICA DE ELÉTRONS NÃO-TÉRMICOS

No caso da distribuição de elétrons no *loop* ser do tipo *power-law*, os cálculos do mecanismo girossincrotrônico para esses elétrons são muito mais complicados do que no caso térmico. Existem muitos modelos e, neste caso, a lei de Kirchoff não se aplica. Na maioria desses modelos, os cálculos do espectro supõem que a distribuição do ângulo de *pitch* seja *anisotrópica*, mas não se têm

evidências observacionais para isso.

Considerando a distribuição isotrópica do ângulo de θ , os coeficientes de emissão e absorção para o modo extraordinário (modo x) são dados por (Dulk e Marsh, 1982):

$$h_{f,x}/BN \approx 3,3 \times 10^{-24} 10^{-0,52\delta} \text{sen}\theta^{(-0,43+0,65\delta)} (f/f_B)^{(1,22-0,9\delta)}, \quad (2.5)$$

e

$$K_{f,x}/N \approx 1,4 \times 10^{-9} 10^{-0,22\delta} \text{sen}\theta^{(-0,09+0,2\delta)} (f/f_B)^{(-1,3-0,98\delta)}, \quad (2.6)$$

onde δ - índice espectral de energia dos elétrons;

N - número de partículas, e

$f_B = \Omega_e / 2\pi$ frequência (onde Ω_e - girofrequência de elétrons).

Nesse caso, a temperatura efetiva depende de alguns parâmetros e é dada por

$$T_{\text{eff}} = 2,2 \times 10^{(9-0,31\delta)} \text{sen}\theta^{(-0,36-0,06\delta)} (f/f_B)^{(0,5+0,85\delta)}. \quad (2.7)$$

A frequência de pico para uma distribuição não térmica, é dada por :

$$f_{\text{max}} = 2,2 \times 10^3 \times 10^{0,27} \text{sen}\theta^{(0,41+0,3\delta)} (N_e)^{(0,32-0,03\delta)} B^{(0,68+0,03\delta)} \quad (2.8)$$

O espectro da distribuição da lei de potência é qualitativamente igual ao da distribuição dos elétrons térmicos com pequenas variações na inclinação do crescimento de f . Nesse caso, o índice espectral $\alpha(f)$ varia de -1,5 para $\delta = 3$ a -4,2 para $\delta = 6$,

quando $\tau \ll 1$ (meio opticamente fino).

2.4 - INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NAS OBSERVAÇÕES

a) Observações em ondas milimétricas

As observações em ondas milimétricas (22 GHz), em polarização R e L foram realizadas pelo pessoal de Física Solar do departamento de Astrofísica do INPE, utilizando-se a antena de 13.7 m de diâmetro de Itapetinga-Atibaia durante o mês de novembro, em 1982. A região ativa 3994 (NOOA) foi rastreada com alta sensibilidade (0.02 u.f.s.), alta resolução temporal (3 ms) e precisão temporal absoluta melhor que 0.1 ms (Kaufmann et al., 1982a), sendo que o sinal foi gravado em fita magnética (gravador marca Ampex) junto com marcas do tempo.

b) Observações em ondas métricas

As observações em ondas métricas (nas frequências 237, 327 e 408 MHz) foram realizadas simultaneamente às observações em 22 GHz, também em polarização R e L. Elas foram realizadas com a antena de 10 m de diâmetro do Rádio Observatório de Trieste, em Trieste (Itália), com sensibilidade melhor que 1 u.f.s., resolução temporal de 30 ms e precisão temporal absoluta melhor que 100 ms, pelo Grupo de Física Solar de Trieste.

2.5 - OBSERVAÇÕES E ANÁLISES

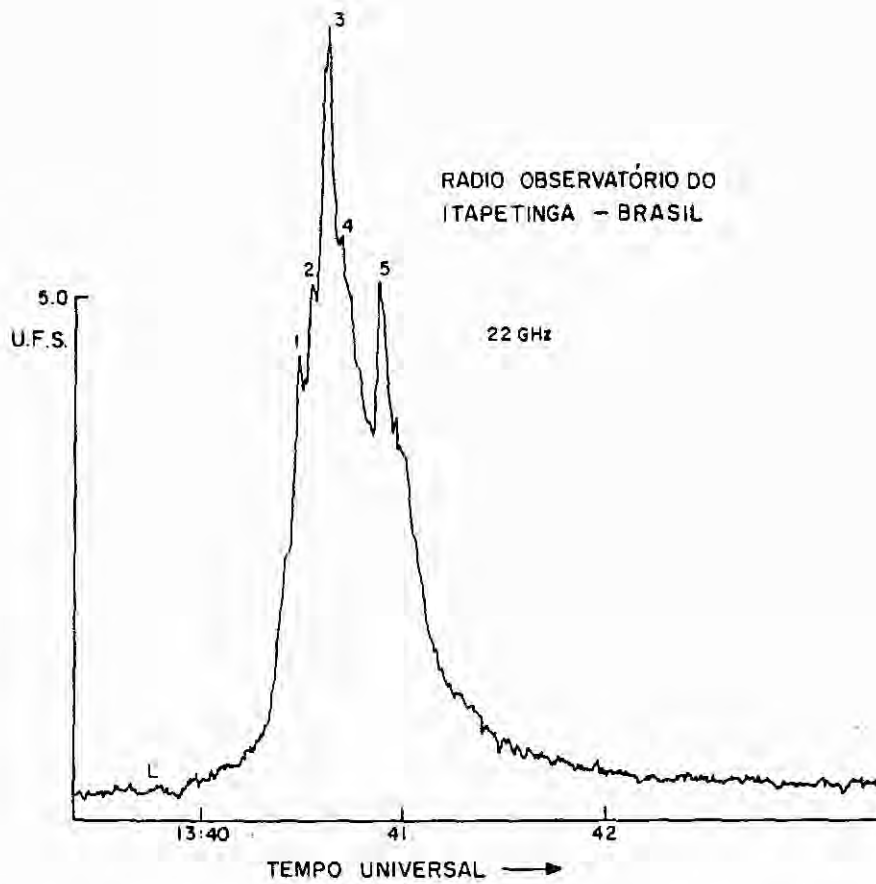
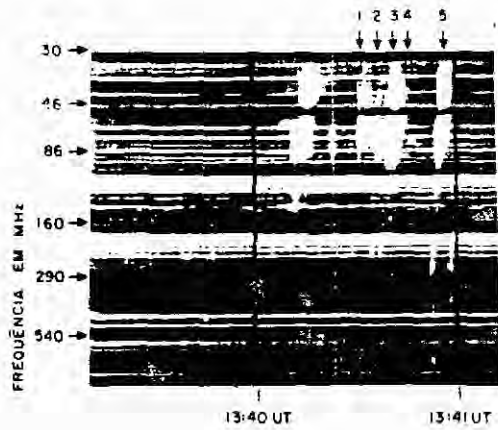
2.5.1 - ONDAS MÉTRICAS TIPO-III E ONDAS MILIMÉTRICAS

Um grupo de 5 explosões foram selecionadas das 25 observadas em 22 de novembro de 1982, para estudos associados de explosões em ondas milimétricas e explosões de ondas métricas tipo III,

cujas frequências iniciais são : 408 , 327 e 237 MHz. Um total de 88, 34 e 15 eventos tipo III foram observados nessas cinco explosões , nas frequências 237, 327 e 408 MHz respectivamente. Destas, 51, 21 e 6 explosões tipo III respectivamente, foram encontradas com associação no tempo com estruturas de 22 GHz. Geralmente, as explosões tipo III são fracamente polarizadas. No entanto, encontrou-se um grau de polarização de 45 % circular à esquerda, o qual é muito alto (Benz e Zlobec, 1978). O grau de polarização milimétrica (22 GHz) associada observado foi de 15 a 50 % o que é comum para explosões milimétricas.

A Figura 2.4 mostra um exemplo da associação de explosão solar de ondas milimétricas e métricas tipo III, com cinco picos em 22 GHz, bem correlacionados. Os eventos foram confirmados pelo espectro dinâmico do mesmo intervalo de tempo (13 40:00 UT - 13 41:00 UT do dia 23 de Novembro de 1982). Não foi possível fazer uma análise mais detalhada. dos eventos disponíveis em ondas métricas devido à sua baixa resolução temporal

A Figura 2.5 mostra os perfis temporais do grupo de explosões tipo III em ondas métricas, nas frequências de 408, 327 e 237 MHz, intensidades elevadas (de 800 a 4000 u.f.s.). Elas foram observadas em 22 de novembro de 1982, durante o intervalo de tempo 14 44:10 UT a 14 44:20 UT. Os perfis de 22 GHz também foram observados durante o mesmo intervalo de tempo. Conforme é visto na figura, a maioria dos picos de 22 GHz estão ou adiantados ou coincidentes (+/- 100 ms) com os picos das explosões em ondas métricas (408,327,237 MHz) associadas. Ocorrem também atrasos, e os atrasos de tempo das ondas métricas observadas são menores que 500ms.



a)

b)

Fig. 2.4 - Explosão Solar observada em 23 de novembro de 1982
 a) Espectro-dinâmico de Tübingen. Os números indicam as explosões tipo III associadas com b) 22 GHz em polarização RC (right circular).

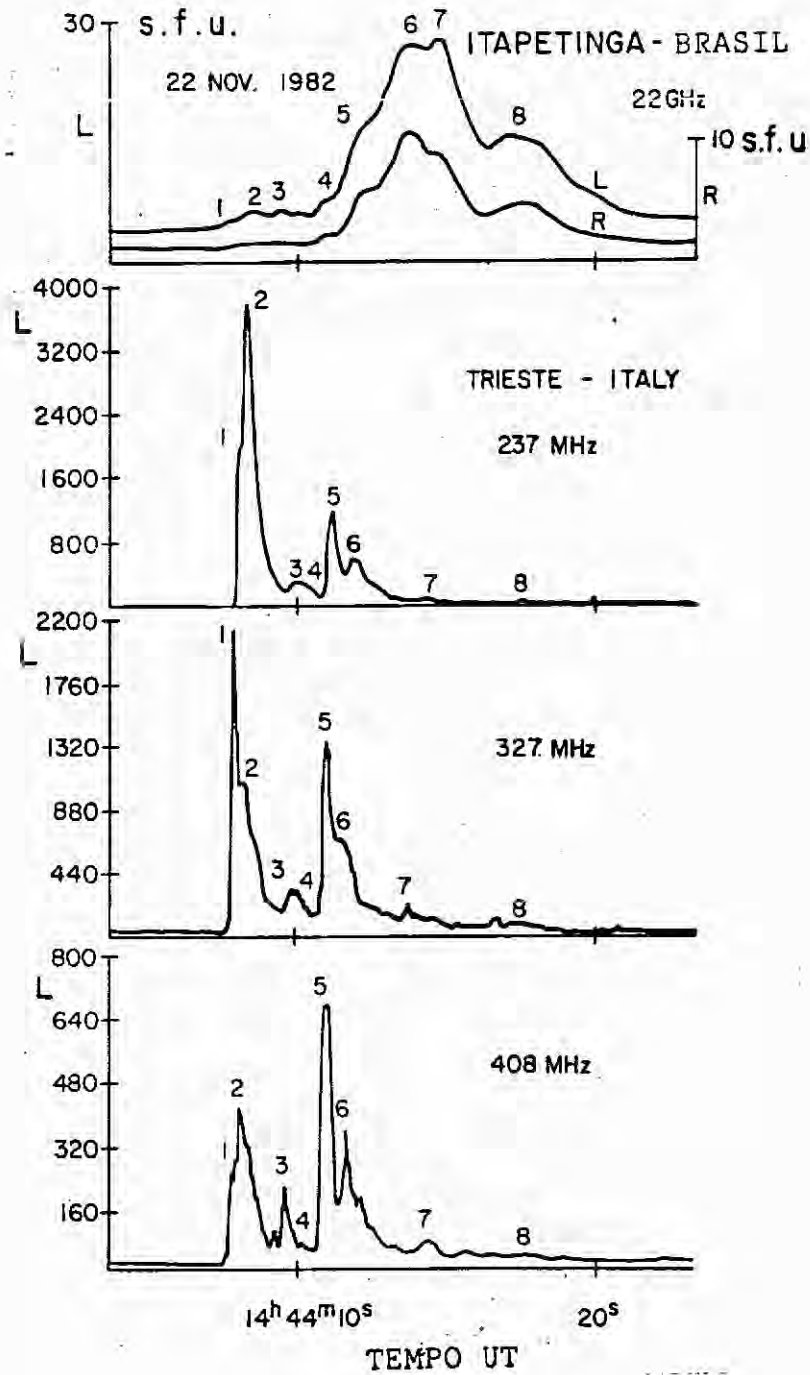


Fig. 2.5 - Perfis temporais em polarização circular de um grupo de explosões observadas no intervalo de tempo de 14 44:10- 14 44:20 UT em: a)22 GHz b)237 MHz c)327 MHz e d)408 MHz. Os números indicam os picos associados em milimétricas e métricas.

Um outro exemplo de associação das explosões tipo III com estruturas de 1 segundo em 22 GHz, aparece na Figura 2.6. Ela mostra uma explosão observada durante o intervalo de tempo de 12 23:00 UT a 12 23:30 UT, no dia 22 de novembro de 1982, que exhibe dois picos coincidentes ($\Delta t \pm 100$ ms) em 22 GHz e 237 MHz, quinze picos de ondas métricas atrasados (Δt de 100 à 700ms), e só quatro picos de métricas adiantados (de 100 à 300 ms) em relação à milimétricas. Deve ser observado que as medidas do tempo de pico das estruturas foram feitas em figuras expandidas no tempo, o que possibilita uma visão mais detalhada em relação ao número de picos.

O perfil temporal do grupo de explosões tipo III observadas durante o intervalo de tempo 13 34:40 UT a 13 36:20 UT, e o das explosões em 22 GHz observadas durante o mesmo intervalo, é mostrado na Figura 2.7. Ele se apresenta com as seguintes características: a atividade em ondas métricas começa primeiro em 237 MHz e está bem correlacionada com 22 GHz; a atividade em frequências mais altas (327,408 MHz) começa mais tarde e não está bem correlacionada no tempo, com 22 GHz. Os picos das explosões tipo III de 237 MHz embora ocasionalmente liderem os picos de 22 GHz (9 picos nas três frequências, com Δt variando de 300 à 750 ms) estão na maioria das vezes atrasados em relação às estruturas de 22 GHz (25 picos nas três frequências, com Δt variando de 100 à 800 ms).

As diferenças no tempo de pico das estruturas tipo III e das estruturas milimétricas em todas as explosões ficam no intervalo compreendido entre + 0.9 s a -1.2s. Definimos a diferença de tempo Δt entre os picos em ondas métricas e ondas milimétricas como negativo quando os eventos em ondas milimétricas estão adiantados (Figura 2.8) conforme pode ser visto no histograma da Figura 2.9(a,b,c). Pelo histograma geral (Figura 2.9-d) pode-se ver que, na maioria dos casos, as explosões milimétricas (22 GHz) estão adiantadas em média de 500 ms em relação às estruturas tipo III, de ondas métricas (408,327 e 237

2.5.2 - ESTRUTURAS FINAS EM ONDAS MÉTRICAS ASSOCIADAS COM ONDAS MILIMÉTRICAS

Dados observacionais das estruturas finas em ondas métricas foram tomados com o seguinte critério: duração de ≈ 300 ms numa dada frequência, e de banda estreita (≤ 100 MHz). Por exemplo, as estruturas finas por nós estudadas, só aparecem em uma frequência entre as três observadas (408, 327 e 237 MHz). Das cinco explosões em ondas métricas observadas nessas frequências apenas em uma delas apareceram estruturas finas. As estruturas finas de ondas métricas observadas em 408, 327 e 237 MHz possuem fraca polarização circular à esquerda (3 - 20 %). As estruturas das explosões milimétricas (22 GHz) associadas com as estruturas finas de ondas métricas são polarizadas no mesmo sentido, com grau entre 50-60 %. A maioria destas explosões milimétricas, são de fraca intensidade, com fluxo de pico menor que 3 u.f.s, e as explosões métricas possuem intensidade de fluxo variando de 150 à 800 u.f.s.

A Figura 2.10 mostra as estruturas finas no espectro dinâmico de ondas métricas, conhecidas como tipo III-b, observadas na faixa de frequência de 80 MHz até 1000 MHz. Ela mostra a emissão de banda estreita na frequência, e estruturas finas tipo *blip* no intervalo de tempo das 14 20:20 as 14 20:40 U.T. Explosões solares simultâneas em 22 GHz mostram um pico claramente associado com tipo III-b e outros com *blips*. Na falta de observações com resolução temporal melhor no mesmo intervalo de tempo, essa explosão não foi utilizada em nossos estudos.

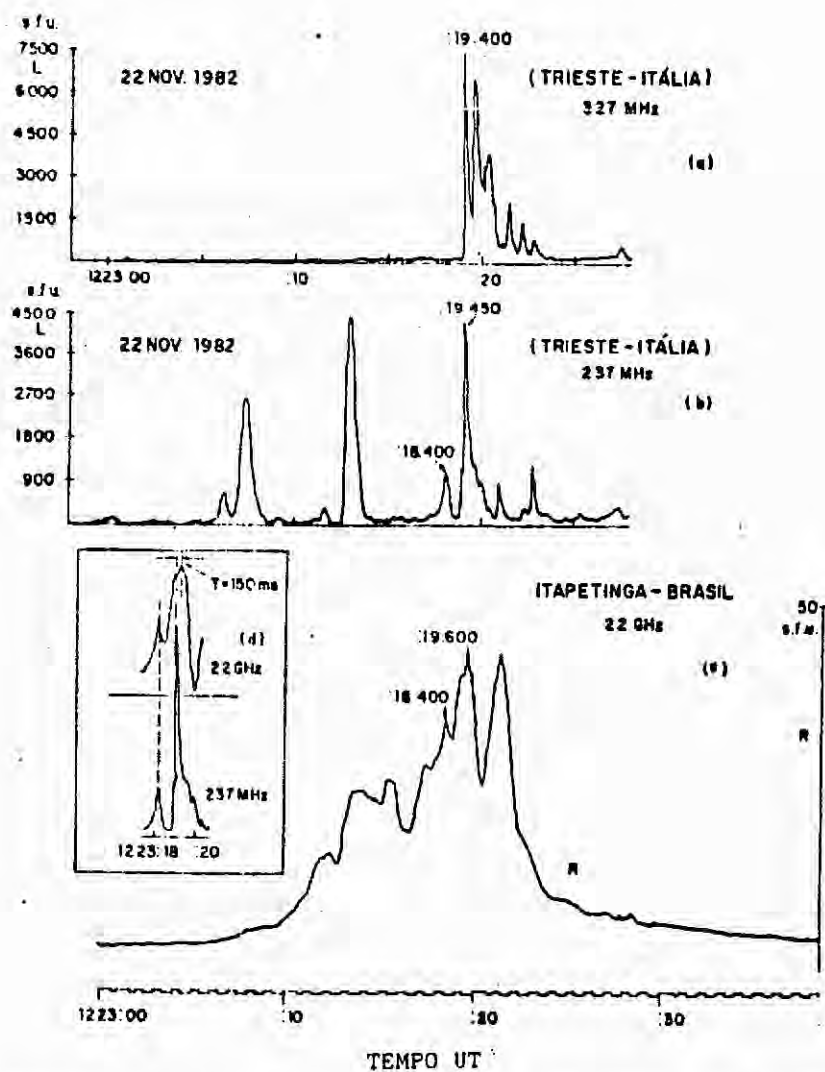


Fig. 2.6 - Explosão Solar observada em 22 nov. 1982 durante o intervalo de tempo 12 23:00 UT a 12 23:30 UT a) e b) exibem o perfil temporal da explosão em 327 e 237 MHz c) é o perfil de intensidade da explosão em 22 GHz em polarização RC, d) no canto esquerdo são mostrados os perfis dos picos em 22GHz e 237 MHz ao redor de 12 23:18 UT, coincidentes ($\Delta t \approx 50 \text{ ms}$), e atrasados ($\Delta t \approx 150 \text{ ms}$), se comparados com as estruturas de 237 MHz associadas.

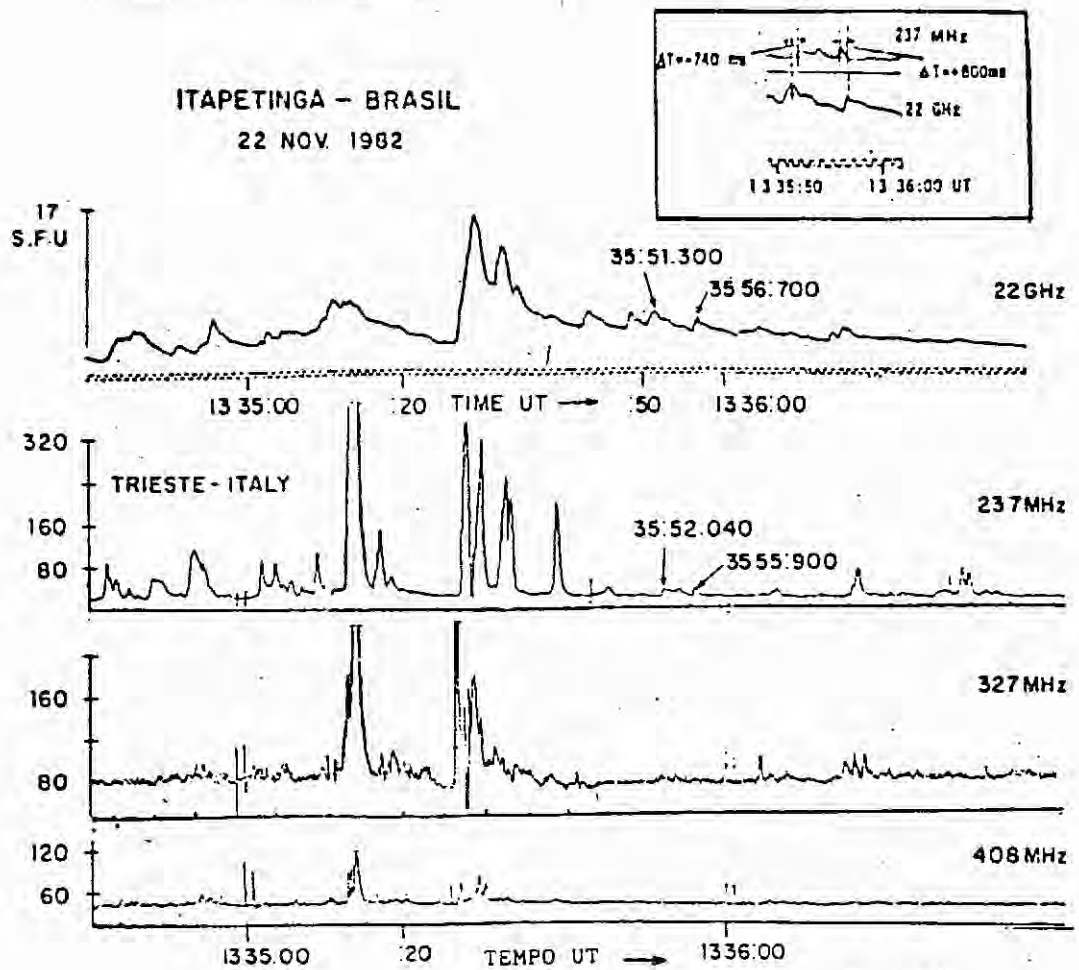


Fig. 2.7 - Explosão Solar observada em 22 nov. 1982. a) Perfil temporal em 22 GHz em polarização RC, com constante de tempo de 3 ms. b, c, d) Perfis temporais em 237, 327 e 408 MHz, polarização LC, com constante de tempo de 30 ms. No topo, à direita, perfis temporais em 327 MHz e 22 GHz, com um pico atrasado (+ 800 ms) e um adiantado (-740 ms) de milimétrica em relação à métrica.

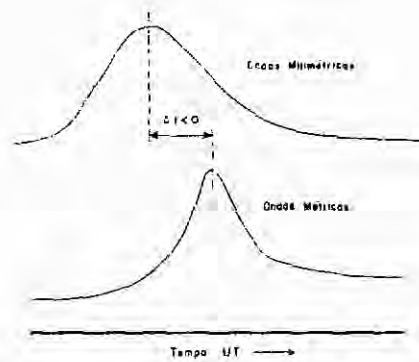


Fig. 2.8 - Convenção para as medidas da diferença temporal entre os picos de ondas métricas e milimétricas ($\Delta t < 0$: ondas milimétricas adiantadas).

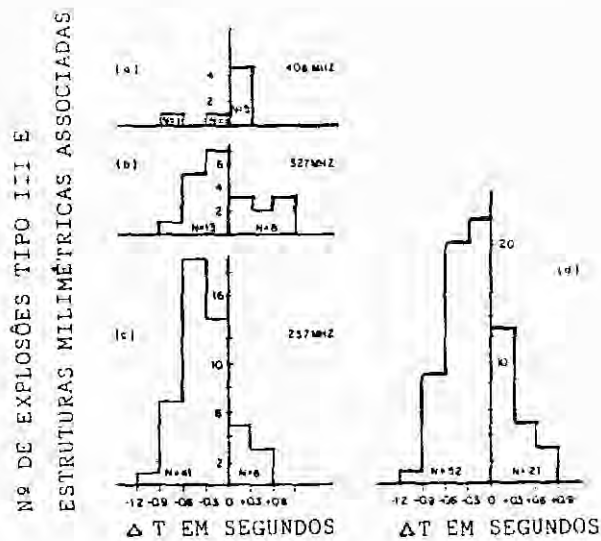


Fig. 2.9 - Histogramas do número de picos das explosões tipo III associadas com estruturas em ondas milimétricas (22 GHz) versus diferença de tempo de pico entre as explosões tipo III em ondas métricas e ondas milimétricas. a) 408, b) 327, c) 237 MHz, d) número total de picos associados em métricas tipo III e milimétricas. Nota-se que na maioria dos casos, as explosões tipo III estão atrasadas ($\Delta t < 0$) em relação às estruturas de 22 GHz por ≈ -500 ms.

Outro exemplo de associação de estruturas finas em ondas métricas, na frequência de 327 MHz com as características citadas acima, associadas à ondas milimétricas aparece na Figura 2.11. Esta figura mostra uma *micro explosão simples, gradual* (Kaufmann et al., 1984), observada em 22 GHz, com um pico às 14 03:20 U.T.. Quando a *micro explosão simples, gradual* decai, superposta à ela aparecem outros picos às 14 03:21 UT que continuam por aproximadamente três segundos, e exibem picos superpostos à componente gradual em microondas. Com o objetivo de minimizar o efeito da componente gradual, para melhor comparação temporal das estruturas finas em ondas métricas, 327 MHz, fizemos a subtração da média corrida sobre os valores do fluxo original de 22 GHz e o resultado aparece mostrado na Figura 2.11.b. A maioria dos picos pode ser visto acima do nível de ruído 3σ , onde σ é o valor do ruído medido pico-a-pico. As estruturas tipo III em 327 MHz associadas são mostradas na Figura 2.11c em polarização circular à esquerda, na qual podem ser identificadas as estruturas de 200 ms. A Figura 2.11e é a mesma da Figura 2.11b trabalhada na frequência de 327 MHz, onde se vêem claramente, seis estruturas finas acima do nível 3σ .

A diferença de tempo entre os picos em 327 MHz e a estruturas associadas em 22 GHz fica entre ± 300 ms. 5 eventos foram estudados para associação de estruturas finas em ondas milimétricas e ondas métricas. Um total de 56, 48 e 12 estruturas finas foram observadas nas frequências de 237, 327 e 408 MHz respectivamente. Deste total, 44, 36 e 12 estruturas finas em ondas métricas respectivamente, estavam associadas no tempo, com estruturas de 22 GHz. A distribuição da diferença do tempo de pico das estruturas em 22 GHz com as estruturas finas, está no histograma da Figura 2.12a,b,c,d e mostra uma diferença média de ± 200 ms. A maioria das estruturas de ondas métricas estão adiantadas, em média, por 150 ms, se comparadas com as estruturas em ondas milimétricas associadas.

ESPECTRO DINÂMICO
RADIO OBSERVATÓRIO DE TUBINGEN

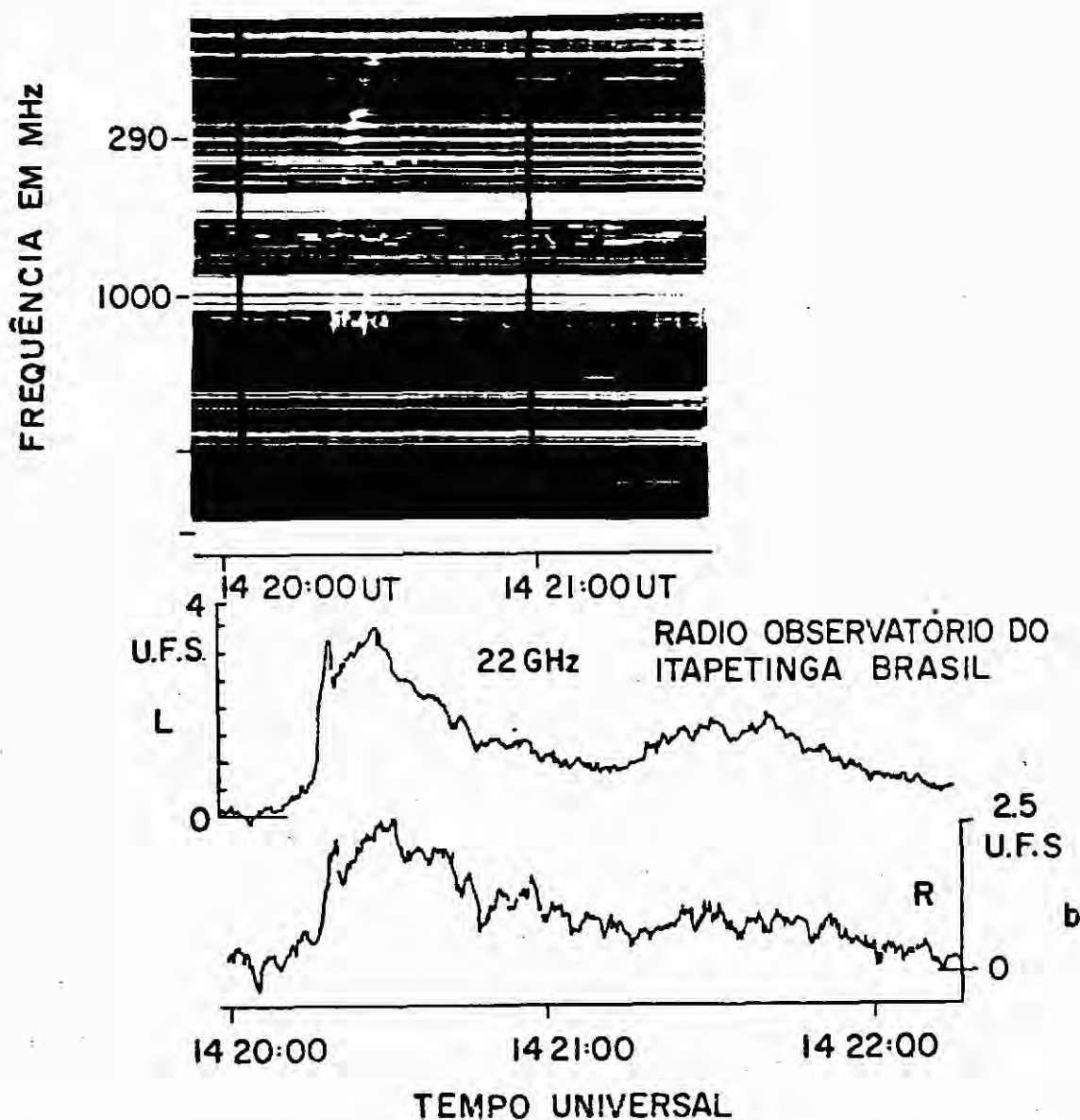


Fig. 2.10 - Estruturas finas tipo IIIb e *blips* observados a) no espectro dinâmico na faixa de frequência de 90-1000 MHz, mostrando emissão de banda estreita na frequência. b) Perfil temporal observado no mesmo tempo, em 22 GHz, com polarização RC e LC.

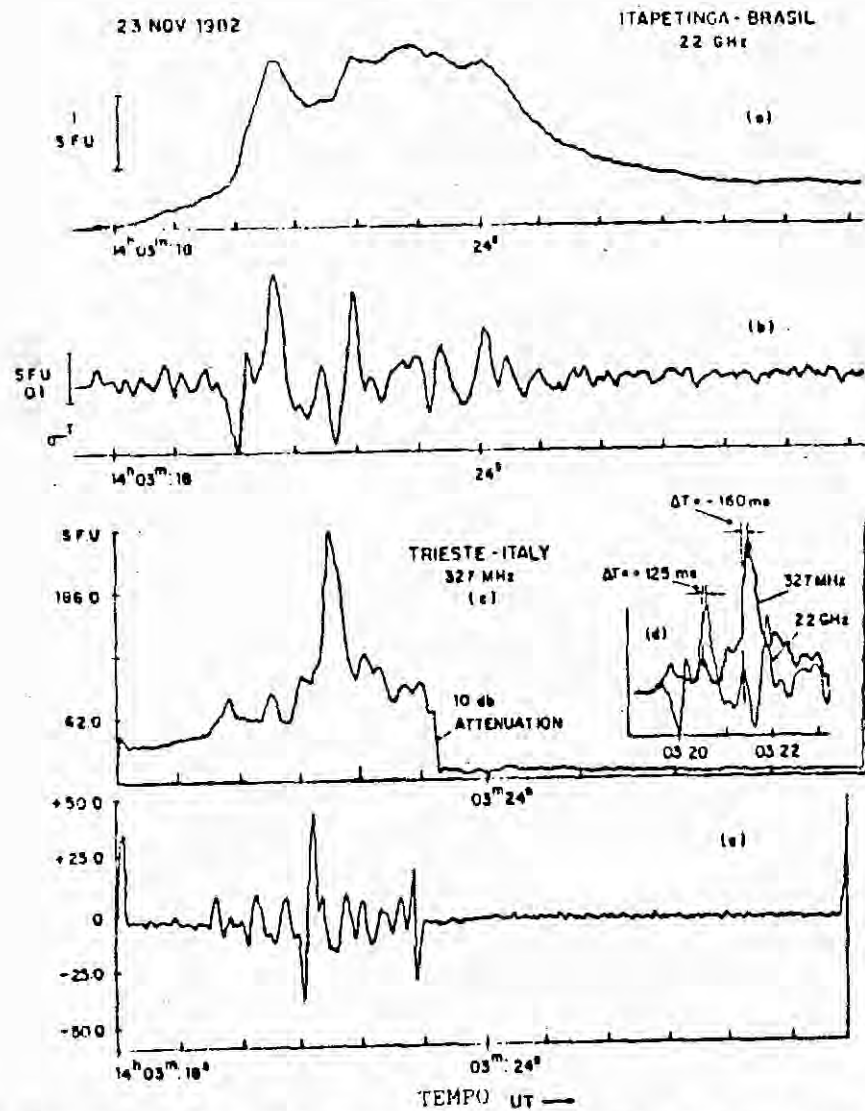


Fig. 2.11 - Explosão Solar observada em 23 nov.1982. a) Perfil temporal de 22 GHz em polarização LC, com constante de tempo de 3 ms. b) Resultado da subtração da média corrida da emissão de 22 GHz da emissão original de 22 GHz. c) Perfil temporal de intensidade de 327 MHz em polarização LC com constante de tempo de 30 ms. d) No canto são mostrados picos de 327 MHz e 22 GHz a redor de 14 03:20 UT que apresentam coincidência e atraso das estruturas em 22 GHz, com estruturas finas em 327 MHz e) O mesmo da fig. 2.11b para 327 MHz.

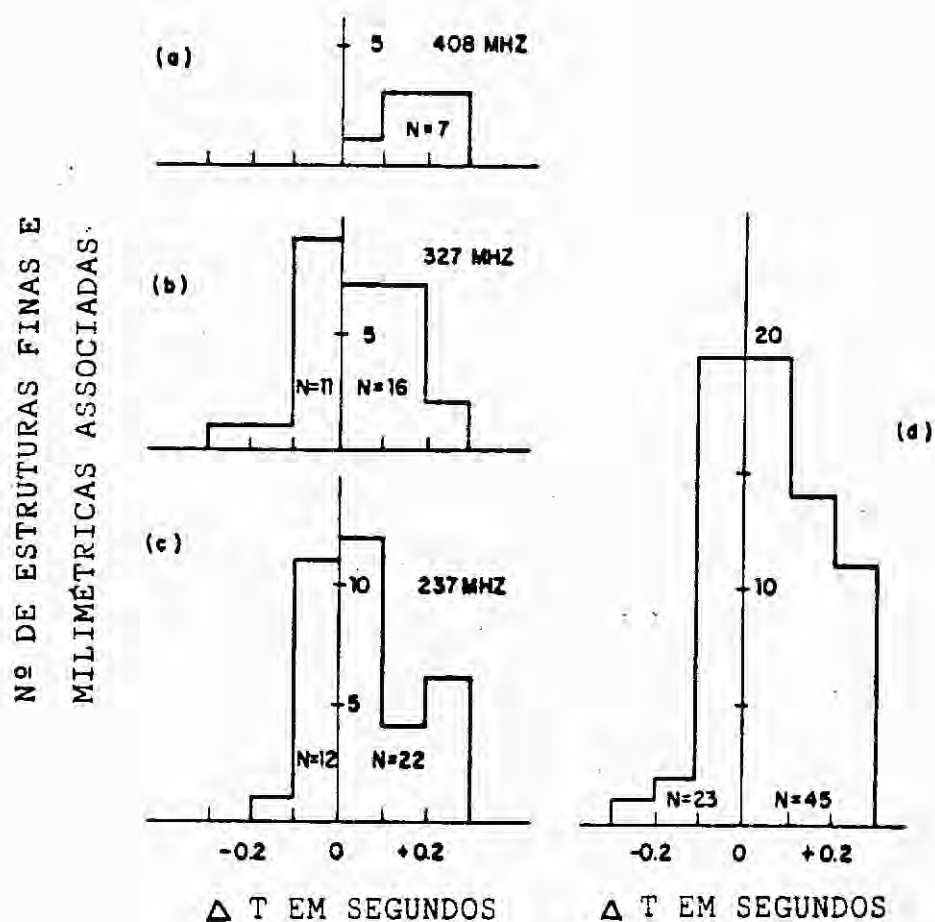


Fig. 2.12 - Histograma do número de estruturas em ondas milimétricas (22 GHz) associadas com estruturas finas em onda métricas versus diferença no seu tempo de pico a) em 408 MHz b) 327 MHz e c) 237 MHz. d) Número total de estruturas finas associadas com 2222 GHz. Note que o pico da maioria das estruturas finas em métricas lidera os picos das ondas milimétricas associadas por ≈ 150 ms/.

2.6 - INTERPRETAÇÕES ANTERIORES DE $\Delta T > / < / = 0$

A interpretação teórica do atraso das ondas métricas em relação à milimétricas tem sido estudada em muitas frequências diferentes e de várias maneiras por vários pesquisadores (Sawant et al., 1984; Raoult et al., 1989).

Sawant et al. (1984) fazendo medidas do tempo de início das explosões, realizaram um estudo de associação das estruturas das explosões solares em ondas métricas e milimétricas das frequências de 408, 327 e 237 MHz e 22 GHz com alta sensibilidade e alta resolução temporal, e encontraram atrasos e adiantamentos das ondas métricas em relação à milimétricas, da mesma ordem de grandeza encontrada pela autora deste trabalho. O adiantamento das ondas milimétricas (22 GHz) em relação à ondas métricas (237 MHz) foi interpretado considerando-se o tempo de aceleração dos elétrons de altas energias (200 keV) e o tempo de propagação gasto pelos elétrons de baixas energias (50 keV), para alcançar o nível de plasma onde eles produzem emissão em 237 MHz. Seja Δt_{AHL} o excesso de tempo de aceleração necessário para acelerar os elétrons de altas (> 200 keV) energias-responsáveis pela geração de microondas, comparado com o tempo necessário para acelerar os elétrons de baixas energias (50 keV)- responsáveis pela geração de ondas métricas tipo III, e Δt_{PL} o tempo de propagação de elétrons de baixas energias desde a região de aceleração até alcançar o nível de plasma de 237 MHz após sua aceleração inicial.

Se $\Delta t_{\text{AHL}} = \Delta t_{\text{PL}}$, as das métricas e milimétricas começam ao mesmo tempo;

Se $\Delta t_{\text{AHL}} < \Delta t_{\text{PL}}$, as ondas milimétricas aparecem antes das ondas métricas;

Se $\Delta t_{\text{AHL}} > \Delta t_{\text{PL}}$, as ondas milimétricas aparecem depois das ondas métricas.

Devido à alta imprecisão das medidas de tempo de início das explosões solares, principalmente em ondas milimétricas onde o rise-time é muito lento, se faz necessário um trabalho usando medidas do tempo de pico dos eventos.

Raoult et al., (1989), realizaram um estudo de associação de eventos em ondas milimétricas (22 GHz) e tipo III ondas métricas (169 MHz), mas utilizando as observações HELIOGRÁFICAS. Nesse caso a altura da emissão tipo III é independente do modelo de densidade. A altura observada é igual a altura calculada pelo modelo de Saito $\times 10$ de densidade. Neste caso, para as medidas de correlação temporal, foram usados os tempos de pico dos eventos, com baixa resolução temporal (< 1 s). Foram encontrados adiantamentos (de 100 à 1000 ms) e coincidências dos picos das estruturas em ondas métricas em relação à milimétricas. No entanto, na maioria dos casos, os eventos em ondas métricas apareciam atrasados (com Δt variando de 100 à 2000 ms) em relação à milimétricas, de um valor duas vezes menor do que o esperado. Esta variação no tempo foi explicada através de uma geometria 3-D, que deduz valores de velocidade de elétron, responsável pela emissão de tipo III, muito altos. Se v_{exc} é a velocidade do feixe de elétrons, então $v_{exc} \geq 0,6 c$, o que significa que elétrons de altas energias (≥ 200 keV) também estão envolvidos tanto na geração de tipo III métricas como em milimétricas. A Figura 2.13 mostra uma comparação dos perfis temporais dos eventos estudados por Raoult et al. (1989), mostrando uma correlação temporal entre as frequências 22 GHz e 169 MHz.

A Figura 2.14 mostra uma comparação entre as posições entre as fontes de ondas métricas e milimétricas (Raoult et al., 1989).

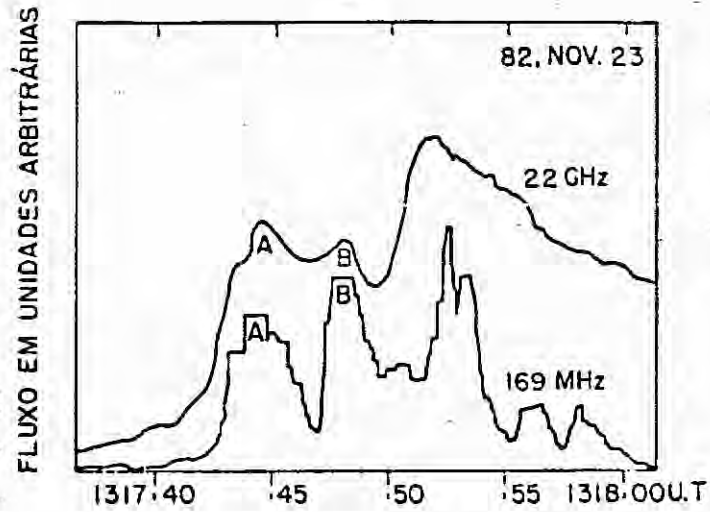


Fig. 2.13 - Comparação dos perfis temporais dos eventos em ondas métricas (169 MHz) e milimétricas (22 GHz) mostrando boa correlação temporal nas duas frequências.

Fonte: Raoult et al., (1989), p. 38.

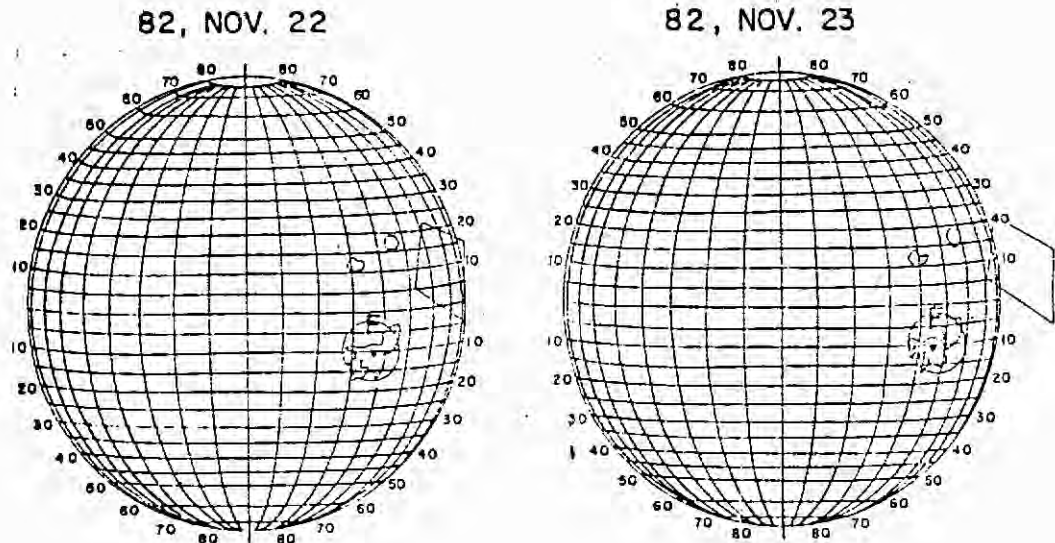


Fig. 2.14 - Posições das fontes em ondas métricas e milimétricas, nos dias 22 e 23 de novembro de 1982. O círculo mostra a posição do feixe da antena de Atibaia (22 GHz). A fonte de emissão em 22 GHz está em F e a fonte de métricas aparece mostrada no losango.

Em resumo, no trabalho de Raoult et al., (1989) as diferenças entre os picos das ondas métricas e milimétricas são da mesma forma tipo e sentido daquelas que nós encontramos, mas estas diferenças não são da mesma frequência de início de tipo III e, sua frequência ainda é muito baixa. Também não explicaram a coincidência e a ocorrência de picos de ondas métricas adiantadas em relação às milimétricas.

Nota-se que em nenhum dos trabalhos anteriores, foi realizado estudo de comparação das frequências de início de tipo III com as ondas milimétricas.

2.7 - INTERPRETAÇÕES DA DIFERENÇA TEMPORAL DA FREQUÊNCIA DE INÍCIO DE TIPO III E DADOS MILIMÉTRICOS

Para interpretar a diferença temporal dos picos de ondas métricas e milimétricas, fizemos uma estimativa da distância mínima que o feixe de elétrons deve percorrer antes de se tornar instável e produzir emissão tipo III. A seguir, calculamos a distância entre a região de aceleração de elétrons e a região de emissão em ondas métricas, para o fundamental e segundo harmônico. Considerando a velocidade dos elétrons igual à $0,3 c$, determinamos os atrasos esperados entre ondas métricas e milimétricas. Tentamos explicar os atrasos observados considerando a velocidade dos elétrons $\approx 0,6c$, com a emissão de tipo III no primeiro harmônico. As evidências da emissão no primeiro harmônico serão por nós discutidas.

2.7.1 - ESTIMATIVA DA DISTÂNCIA MÍNIMA

Considerando a geometria do *flare* solar conforme esquema mostrado na Figura 2.15, é possível estimar o valor teórico esperado do atraso do tempo de pico das estruturas em ondas métricas na frequência de início de tipo III (237 MHz) e milimétricas (22 GHz).

Seja um feixe de elétrons sendo acelerado no topo do arco magnético na região de aceleração (Figura 2.15) e viajando ao longo das linhas de campo magnético abertas. A distância mínima (X_{\min}) na qual o feixe deve percorrer antes de se tornar instável desde a região de aceleração até a região de emissão de ondas métricas, é dada por (Kane et al., 1982). Assim, se T é a temperatura da coroa ($\approx 10^6$ K),

$$X_{\min} = 1,5 \times 10^4 \times \alpha \times t_{\text{exc}} \times (T / 10^6 \text{K}) \text{ km} \quad (2.9)$$

onde: T - temperatura da coroa ($\approx 10^6$ K);

t_{exc} - tempo de excitação do feixe de elétrons;

α - expoente da lei de potência que descreve a função de distribuição de elétrons no local de aceleração ($\alpha=2\gamma+1$), e

γ - índice espectral em raios-X.

Valores de γ e t_{exc} foram obtidos em observações e raios-X, com γ valendo tipicamente de 2 à 5, e $t_{\text{exc}} \leq 1$ s.

Na maioria das explosões observadas em nosso trabalho, o tempo de subida é igual ao tempo de excitação, e menor do que 1 s. Tomando $T = 10^6$ K, obtivemos $X_{\min} = 3,3 \times 10^4$ km. A interpretação então é a seguinte: após se propagar para cima, com velocidade 0,3 c, por uma distância mínima de $3,3 \times 10^4$ km, em direção das linhas de campo magnético abertas, ocorre uma instabilidade no feixe de elétrons (*bump in the tail*) quando uma curva positiva aparece na função de distribuição de velocidades do feixe de elétrons. Isso produz a emissão em ondas métricas no primeiro e segundo harmônicos, pelo mecanismo de emissão plasma.

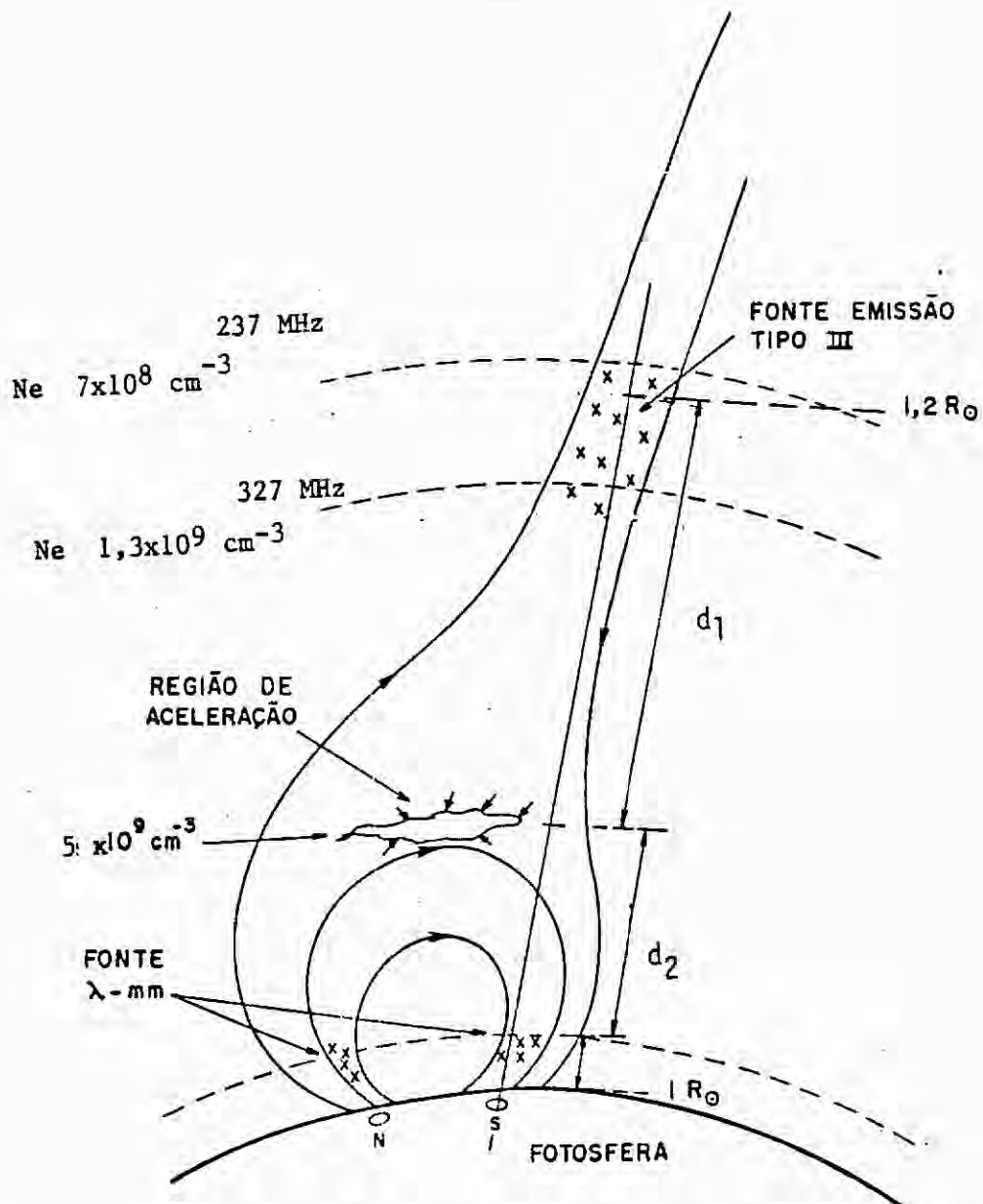


Fig. 2.15 - Geometria do modelo proposto para a emissão de ondas milimétricas e as explosões associadas tipo III (nas frequências de início 327 ou 237 MHz), e os atrasos observados entre as ondas métricas e milimétricas. As explosões tipo III são produzidas por elétrons de 50 keV após percorrer uma distância d_1 com velocidade $0,3c$, a partir da região de aceleração e as ondas milimétricas são produzidas pela precipitação de elétrons de 200 keV, por emissão girossincrotrônica no loop fechado.

2.7.2 - CÁLCULO DA DISTÂNCIA ENTRE A REGIÃO DE ACELERAÇÃO E AS REGIÕES DE EMISSÕES

De estudos estatísticos de raios-X impulsivos e explosões tipo III associadas, em um período de observações de 7068 horas, Kane (1981) sugeriu que a região de aceleração, associada com altas frequências de início das explosões tipo III produzindo raios-X, está localizada próxima ao nível de densidade de elétrons de $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$, correspondendo à frequência de plasma de $\approx 500 \text{ MHz}$.

Pela equação de densidade ($f_p = 8,98 \times 10^3 \cdot (N_e)^{1/2}$) onde f_p é dada em Hz e N_e em cm^{-3} , calculamos os valores da densidade de plasma das regiões de emissão em 237 e 327 MHz, para o primeiro e segundo harmônicos, utilizando o modelo de densidade de Saito (1970). Para esse modelo, tem-se que

$$N_e(r) = (3,09 \times 10^8)/r^{16} + (1,58 \times 10^8)/r^6 + (0,025 \times 10^8)/r^{2.5}, \quad (2.10)$$

onde N_e - densidade de elétron correspondente à frequência de plasma, e
 r - altura acima da fotosfera em termos do raio solar.

Calculamos a altura acima da fotosfera da região de emissão de ondas métricas. Os resultados para o modelo de Saito x 1 até x 10 estão no anexo 2 enquanto que os resultados relevantes à este trabalho que foram obtidos com o modelo de Saito x 10 estão na Tabela 2.1. Os resultados da tabela do anexo 2 foram calculados por Monique Pick, do Observatório de Paris.

TABELA 2.1 - VALORES DA DENSIDADE DE ELÉTRONS NA COROA SOLAR

f (MHz)	N_e (cm^{-3})	r (R_\odot)
237 1° Harmônico	$7,0 \times 10^8$	1,20
2° Harmônico	$1,7 \times 10^8$	1,47
327 1° Harmônico	$1,3 \times 10^9$	1,12
2° Harmônico	$3,3 \times 10^8$	1,33

A emissão em microondas ocorre normalmente em mais do que dois harmônicos, alcançando até dez harmônicos. Para se observar na frequência de 22 GHz, a frequência fundamental deve ser $\approx 22/3 \approx 7,4$ GHz, se assumirmos que o mínimo é o terceiro harmônico. Deve ser originada em regiões onde a frequência de plasma é menor do que este valor. Nesse caso, usando o modelo de densidade abaixo

$$N_e(r) = 2,5 \times 10^{12} e^{-7,7 \times 10^{-4}(r-500)} \text{ cm}^{-3}, \quad (2.11)$$

que fornece a variação da densidade na cromosfera (correspondendo à 5 vezes o modelo de densidade cromosférica de Cillié e Menzel, (1935)), e considerando $N_e = 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$, a altura estimada para originar a emissão de 22 GHz vale:

$$r = 2400 \text{ km acima da fotosfera.}$$

Podemos agora estimar a distância entre a região de aceleração e a região de emissão tipo III. Ela vale , para 237 MHz, no primeiro e segundo harmônicos

$$d_1 = 1,20 R_{\odot} - 1,04 R_{\odot} \approx 100.000 \text{ km}$$

e

$$d_1' = 1,47 R_{\odot} - 1,04 R_{\odot} \approx 300.000 \text{ km} ,$$

respectivamente.

Observamos neste caso, que a distância entre a região de aceleração e a região de emissão tipo III(237 MHz) é maior que X_{\min} ($3.3 \times 10^4 \text{ km}$) - distância mínima para que o feixe de elétrons se torne instável e provoque a emissão tipo III.

2.7.3 - ATRASO ESPERADO ENTRE ONDAS MILIMÉTRICAS E MÉTRICAS TIPO III

A diferença de tempo Δt entre os picos de ondas métricas e os de milimétricas pode ser estimada considerando-se que os elétrons energéticos (provocadores da emissão tipo III e emissões em milimétricas) sejam acelerados ao mesmo tempo. Deve ser considerado, também que alguns deles se desloquem para cima em linha reta até uma distância d_1 (gerando tipo III), e que alguns deles com velocidade $0.3 c$, precipitem-se nos pés do *loop* até uma distância d_2 , (gerando microondas). Desta maneira, teremos

$$\Delta t = d_1/0.3c - d_2/0.3c, \quad (2.12)$$

onde:

d_1 - distância entre a região de aceleração e a região de emissão tipo III , e

d_2 - distância entre a região de aceleração e a região de emissão em ondas milimétricas.

Como $d_1 \gg d_2$, podemos escrever que

$$\Delta t = d_1/0.3c \quad (2.13)$$

Nesse caso, usamos o valor de d_1 , e assumimos que a emissão em ondas métricas é gerada no primeiro e segundo harmônicos. Conseqüentemente, as explosões em ondas milimétricas (22 GHz) estarão adiantadas em relação às ondas métricas, na frequência de início, de 1,2 s se, a emissão estiver no fundamental, e 3,3 s se estiver no segundo harmônico.

2.7.4 - ATRASO ENCONTRADO ENTRE MÉTRICAS TIPO III E MILIMÉTRICAS

Em nosso caso, as diferenças temporais entre o tempo de pico da frequência de início (237 MHz) das explosões tipo III e das ondas milimétricas associadas valem, em média ≈ 500 ms, um fator 2 ou 6 vezes menor do que o esperado, se a emissão em ondas métricas estiver no primeiro ou no segundo harmônico. Algumas vezes as duas ondas são coincidentes e, poucas vezes o pico das ondas métricas aparecem adiantadas (≈ 200 ms).

Considerando-se que a fonte de emissão das explosões em ondas milimétricas seja não-térmica, se o tempo de aceleração dos elétrons de altas energias adicionado ao tempo de propagação destes até os pés do *loop* ($d_2/0,3c$) for menor do que o tempo de propagação dos elétrons de baixas energias até a região de emissão tipo III ($d_1/0,3c$), o atraso entre as ondas milimétricas e métricas valerá

$$\Delta t = d_1/0.3c - (d_2/0,3c + \Delta t_{\text{AHL}}) \quad (2.14)$$

onde Δt_{AHL} é a diferença entre o tempo de aceleração dos elétrons de altas energias e os elétrons de baixa energia. Se, $d_1/0,3c = \Delta t_{\text{AHL}} + d_2/0,3c$, haverá uma coincidência no tempo de pico das explosões. Se,

$d_1/0,3c < \Delta t_{\text{AHL}} + d_2/0,3c$, então os picos em ondas métricas estarão adiantados em relação aos de milimétricas.

As explosões em ondas milimétricas ($E > 200$ keV) são geradas por elétrons de energia > 200 keV enquanto que as de tipo III são geradas por elétrons de energia ≤ 50 keV. Existem evidências que os elétrons mais energéticos são gerados mais tardiamente que os elétrons de mais baixa (≤ 50 keV) energia (Bai e Ramaty, 1976)

Se o efeito da dependência no tempo de aceleração dos elétrons de altas energias for maior que o caminho *alongado* para os elétrons tipo III pode-se, ainda, explicar a diferença entre o atraso esperado, (de 1.2 s) e o atraso encontrado (0.5 s) nas explosões métricas em relação à milimétricas.

Nossas observações de ondas métricas tipo III mostram que o grau de polarização das explosões tipo III é $\approx 45\%$, maior do que o normal. A correlação entre o grau de polarização das explosões tipo III e a razão de *drift* foi investigada por Benz e Zlobec (1978). Eles mostraram que o alto grau de polarização circular das explosões tipo III está relacionado com a elevada razão de *drift* nestas explosões. De acordo com Benz e Zlobec, a razão de *drift* nesse caso deveria ser de 400 MHz/s enquanto que normalmente é de ≈ 200 MHz/s. Isso sugere um alto grau no gradiente de densidade de elétrons na coroa e/ou, alta velocidade dos elétrons para geração de emissão coerente.

Observações, com altos graus de polarização, sugerem que a velocidade do feixe de elétrons é fator mais importante do que o gradiente de densidade. Neste caso a velocidade do feixe é $> 0,6 c$, o que dá origem à emissão de alta frequência no primeiro harmônico e explica os atrasos observados pelo menos duas vezes menor do que o esperado. Isto significa que pelo menos nestas observações a energia dos elétrons responsáveis pela geração das explosões tipo III e

microondas é algo da ordem de 200 keV.

Além disso, com observações do rádio heliógrafo em 169 MHz, Raoult et al. (1989), confirmaram que a distância (estimada pelo modelo de Saito x 10) entre a região de aceleração e a região de emissão em 169 MHz é coerente com o modelo descrito acima para se calcular a distância à região de emissão de tipo III. Eles estudaram a associação de eventos tipo III e microondas (22 GHz) na mesma região ativa e no mesmo dia de nossas observações.

2.8 - EXPLICAÇÃO PARA O ATRASO NO TEMPO DE PICO DE ONDAS MILIMÉTRICAS EM RELAÇÃO À ONDAS MÉTRICAS E ESTRUTURAS-FINAS

Os atrasos médios temporais observados no caso das estruturas finas são ≈ 3 vezes menores do que aqueles observados no caso das explosões tipo III e, ao contrário destas, na maioria dos casos, as estruturas finas (ondas métricas) estão adiantadas em relação às ondas milimétricas.

Os elétrons são normalmente acelerados no topo do arco magnético. Enquanto estes elétrons precipitam-se na direção dos pés do *loop* para produzir ondas milimétricas por radiação girosincrotrônica, no mesmo *loop*, uma distribuição instável de elétrons produz radiação intensa de banda estreita através do mecanismo de emissão maser. Essa radiação eletromagnética pode escapar para fora do *loop* magnético e acelerar elétrons de altas energias nos tubos de fluxo aberto adjacentes, e que geram estruturas finas (Figura 2.16) conforme foi sugerido por Sprangle e Vlahos(1983). Então, a diferença observada entre ondas métricas, estruturas finas e as estruturas associadas em ondas milimétricas, é devido à diferença de tempo entre a precipitação dos elétrons de altas energias no *loop* confinado magneticamente(a qual produz emissão de ondas milimétricas), e o tempo de viagem da radiação eletromagnética escapando para fora do *loop* confinado e indo para o

tubo de fluxo aberto onde elétrons secundários são acelerados para produzir emissão de estruturas finas em ondas métricas. As ondas eletromagnéticas, produzidas no mesmo *loop*, viajam três vezes mais depressa (com velocidade da luz) do que o feixe de elétrons, para chegar ao mesmo nível onde as estruturas finas são produzidas, imediatamente após a aceleração dos elétrons secundários.

As diferenças médias observadas entre as estruturas finas em ondas métricas e as estruturas associadas em ondas milimétricas, devem ser menores do que as observadas no caso das explosões tipo III e as estruturas em ondas milimétricas. O adiantamento das estruturas finas em ondas métricas em relação à milimétricas sugere, na maioria dos casos, que a fonte da região de aceleração primária deve estar localizada próxima à região onde as estruturas finas são produzidas por aceleração secundária (Bhonsle et al., 1979). Nesse caso, a região de aceleração localiza-se na alta coroa, ao contrário do que normalmente se assume, o que também explica a ocorrência de estruturas finas.

2.9 - CASO NÃO USUAL DE UM PARA UM DE ASSOCIAÇÃO NO TEMPO DE PICO DAS ONDAS MÉTRICAS E MILIMÉTRICAS

Os estudos anteriores de associação pico-a-pico de ondas métricas e milimétricas (Kane et al., 1982, Sawant et al., 1984; Raoult et al., 1989, e inclusive este trabalho), mostraram que não há uma relação um a um entre os picos de ondas métricas e milimétricas.

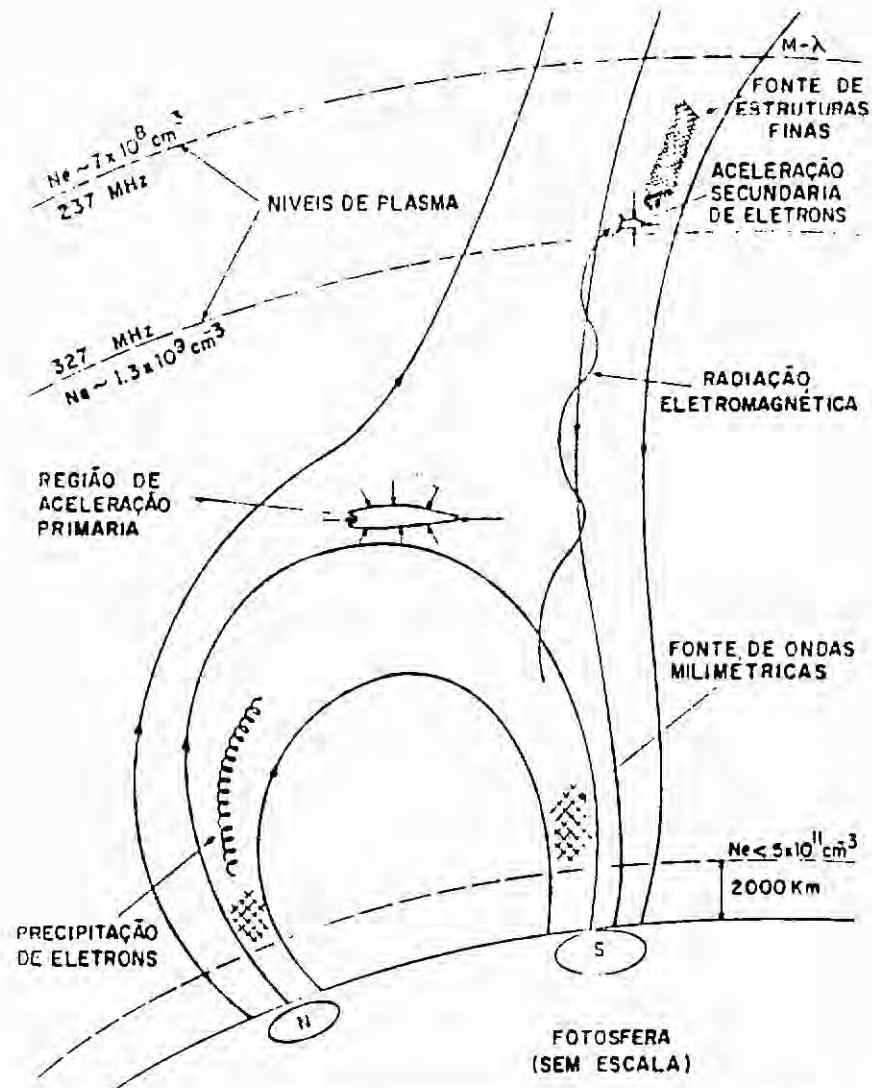


Fig. 2.16 - Esquema do modelo proposto para a emissão de 22 GHz **ESTRUTURAS-FINAS** em ondas métricas 327 MHz e o atraso no tempo observado entre eles. A aceleração primária ocorre no topo do loop. Os elétrons, precipitando-se para baixo, produzem emissão em ondas milimétricas pelo mecanismo girosincrotrônico. Entretanto, alguns desses elétrons dirigindo-se para a cromosfera, excitam radiação eletromagnética de banda estreita, que escapam para fora do loop confinado, com velocidade c e aceleram os elétrons no tubo de fluxo aberto produzindo estruturas finas.

Um caso não usual que mostra associação de um para um de ondas métricas e ondas milimétricas, aparece na Figura 2.17, no evento das 12 24:46 UT de 22 de novembro de 1982, em 22 GHz e 237 MHz (Trevisan et al., 1990a). Nesse exemplo, vemos um grupo explosões tipo III intensas (2.200 u.f.s.), confirmadas no espectro dinâmico e correlacionadas uma a uma com explosões em 22 GHz **extremamente fracas** (≤ 3 u.f.s.). Todos os picos em ondas métricas, nesse caso, estão adiantados em relação às milimétricas, de 0,7 a 0,2s. As ondas métricas tipo III são 45 % polarizadas circularmente à direita, enquanto que as ondas milimétricas, 15 % polarizadas circularmente à esquerda.

2.9.1 - DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DO CASO NÃO USUAL

Assumindo-se que a fonte da explosão em milimétrica é de origem térmica, que a métrica tipo III é não-térmica, e que elas estão ocorrendo ao mesmo tempo, o tempo de aquecimento Joule é dado por (Holman, 1985) ;

$$t_j = 1,24 \times 10^5 (10^{18}/A) (100/B) (T/10^7)^{1/2} (\nu_e/10)^{-1} (\eta_v/10^9) (V/10^{27}) \cdot \left(\frac{v_c}{v_e}\right)^2 \text{ s} \quad (2.15)$$

onde t_j - tempo de aquecimento Joule da região de emissão de λ -mm (s);

A - área da placa de corrente (cm^2);

B - campo magnético na região de emissão (G);

η_v - densidade média de elétrons térmicos no volume V (cm^{-3});

V - volume da região de emissão (cm^3);

T - temperatura da região (K);

ν_e - frequência de colisão (s^{-1});

v_c - velocidade crítica $v_c = 6 \times N_e / E$ cm/s, e

v_e - velocidade de elétrons térmicos (cm/s).

O tempo de aceleração dos elétrons responsáveis pela emissão não térmica, por exemplo tipo III, pode ser escrito como :

$$t_r = \frac{165 N_r / 10^{32} (10^{18} / A) (100 / B) (T / 10^7) (v_e / 10)}{4,66 (v_c / v_e)^{11/4} \exp(-2^{1/2} (v_c / v_e) - 1/4 (v_c / v_e)^2)} \quad (2.16)$$

onde t_r - tempo de aceleração dos elétrons, e
 N_r - número de elétrons acelerados.

Assim, podemos calcular a razão entre o tempo de aquecimento dos elétrons térmicos e o tempo de aceleração de elétrons que resulta em

$$t_j / t_r = 0,4 N_t / N_r (v_c / v_e)^{19/4} \exp(-1,4 (v_c / v_e) - 0,25 (v_c / v_e)^2), \quad (2.17)$$

onde N_t - é o número total de elétrons no volume térmico responsável pelo processo de emissão em milimétricas ($N_t = \eta_v \times V / m_e$, $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg).

Dependendo da razão entre o tempo de aquecimento e tempo de aceleração, pode-se explicar o atraso das ondas milimétricas o adiamento das ondas métricas, ou a coincidência das duas.

Podemos ver que para $N_t / N_r \approx 10^4$ e $v_c / v_e \leq 5$, o tempo de aceleração (t_r) é menor que o tempo de aquecimento (t_j), e caso contrário, o tempo de aceleração é maior que o tempo de aquecimento. Dependendo da fonte de microondas e dos parâmetros do feixe, tais como N_t / N_r , E , η_e e T_e (onde E é energia), atrasos em ambos os sentidos podem ocorrer.

Investigando a Figura 2.17, vemos dois casos distintos de atraso de ondas milimétricas com relação à métricas:

- 1) caso a - O *rise-time* das estruturas em ondas milimétricas

(que representa o tempo gasto no aquecimento da região de emissão em 22 GHz) é mais lento do que o *rise-time* das estruturas em ondas métricas (que representa o tempo gasto na aceleração de elétrons que produzem tipo III). Considerando-se que a região de aceleração (ondas métricas) e a região do início do aquecimento (ondas milimétricas) é bem próxima da região de emissão de milimétricas, mesmo que a aceleração dos elétrons que produzem tipo III comece mais tarde, o pico das explosões em **métricas** aparece **antes** do pico de ondas **milimétricas**.

- 2) **caso b** - Nesse caso, a aceleração de elétrons tipo III, começou ao mesmo tempo que o aquecimento de 22 GHz, mas não próximo da região de emissão de milimétrica. Além disso, houve um deslocamento da frente de calor que vai aquecer a região de emissão de milimétricas, (na figura é o tempo entre o início da explosão em métricas e o início da explosão em milimétricas). Aqui, a região de aceleração e aquecimento fica num ponto mais alto do *loop* do que no caso anterior. Os casos c e d na figura são análogos ao caso b. Nota-se ainda que o intervalo de tempo gasto para o deslocamento da frente de calor não é constante em todas as explosões (b, c, e d). Isso pode significar que as diferentes explosões são produzidas em diferentes *loops* e em diferentes alturas, conforme sugestão de Vlahos et al(1984).

2.10 - CONCLUSÕES

Neste trabalho ,o estudo das explosões em ondas milimétricas e métricas na fase impulsiva do *flare*, nos conduz às seguintes conclusões :

- 1) observou-se um atraso em ondas métricas menor que o esperado

em relação à milimétricas. O atraso sugere que a velocidade dos elétrons que geram ondas métricas é maior do que $0,3 c$ (possuem energia igual à dos elétrons de ondas milimétricas) e, como observamos em frequência alta, pelo menos nesse caso, as ondas métricas foram geradas no primeiro harmônico;

- 2) ocorreram coincidências de ondas milimétricas e métricas. As coincidências sugerem que a aceleração dos elétrons energéticos é dependente do tempo, sugerindo que os elétrons de alta energia são gerados após os elétrons que possuem menor energia;
- 3) houve casos de adiantamentos de ondas métricas em relação à milimétricas. Tudo indica que o tempo de propagação de elétrons tipo III é maior que o tempo de aceleração dos elétrons de altaenergia;
- 4) o modelo de densidade de Saito x 10, usado para os cálculos de densidade, é comprovadamente satisfatório neste caso.
- 5) o estudo da associação de **ESTRUTURAS FINAS** em ondas métricas com milimétricas, indica que :
 - a) a aceleração dos elétrons ocorre na alta coroa, e
 - b) as estruturas finas em ondas métricas são geradas por elétrons secundários acelerados, e
- 6) a associação de eventos de ondas métricas e milimétricas, de um para um , sugere que :
 - a) o mecanismo do *flare* é composto de elétrons térmicos e não-térmicos , e está ocorrendo em vários *loops* complexos, a várias alturas,e
 - b) a emissão de ondas milimétricas ocasionalmente, pode ser originada de elétrons térmicos.

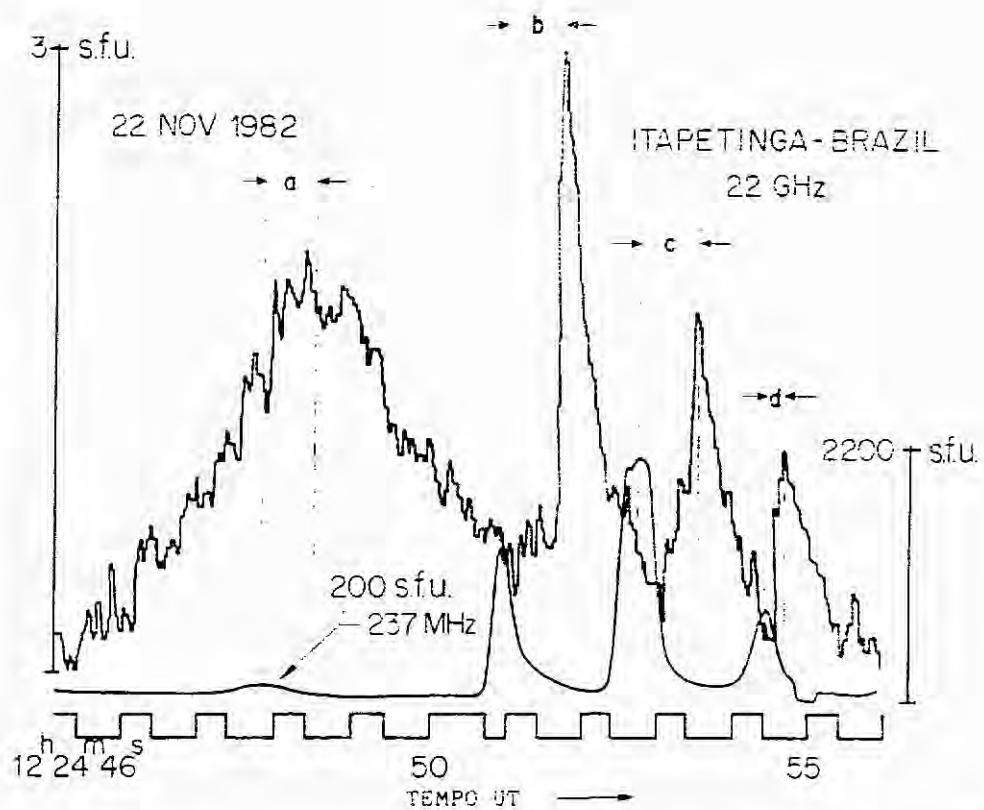


Fig. 2.17 - Exemplo de um grupo de explosões tipo III em 237 MHz intensas correlacionadas com explosões em ondas milimétricas extremamente fracas. Mostra um caso não usual de ondas métricas adiantadas em relação à milimétricas. Os casos a, b, c e d aparecem discutidos no item 2.9.1.

CAPÍTULO 3

INSTRUMENTAÇÃO DECIMÉTRICA DE ALTA SENSIBILIDADE E RESOLUÇÃO TEMPORAL
OBSERVAÇÕES EM 1663 MHz

3.1 - OBSERVAÇÕES DAS EXPLOSÕES SOLARES

As observações das explosões solares em ondas decimétricas iniciaram-se há menos de 30 anos com Yong et al. (1961). Eles fizeram um estudo do espectro dinâmico delas no intervalo de frequência de 500 - 950 MHz com resolução temporal de 200 ms e resolução em frequência de 500 kHz, classificando preliminarmente as explosões de *drift* rápido (explosões de emissão contínua associadas com eventos maiores) e de *drift* intermediário, as quais denominaram de *fibres*. Em seguida Kundu et al. (1961) compararam o espectro dinâmico das explosões solares em rádio, nos intervalos de comprimento de onda decimétrico e métrico (500 a 1000 MHz) e resumiram algumas características das explosões de *drift* rápido no comprimento de ondas decimétricas. Kundu e Spencer (1963) estudaram as características espectrais do *flare* associado à radiação contínua no intervalo de frequência de 500-1000 MHz. Em 1965, Kundu apresentou explosões decimétricas com as seguintes características: i) estruturas tipo III-like, com duração entre 0,3 e 0,2 s e taxa de deriva de frequência > 2000 MHz/s e ii) explosões com *drift-rate* rápidos (2000 MHz/s) e duração de tempo ≤ 200 ms. Tarnstrom e Philip (1972) usando alta sensibilidade (≈ 1 u.f.s.), resolução temporal ≤ 10 ms e resolução em frequência de ≈ 1 MHz, após 2000 horas de observações do Sol em métricas, encontraram uma associação ocasional de explosões tipo III e explosões tipo *spike* sugerindo uma continuidade morfológica entre os dois tipos de eventos. Por mais de uma década, os estudos das explosões solares nessa faixa de frequência ficaram estagnados. Eles só voltaram a se tornar alvo de interesse dos cientistas após observações do SKYLAB, que mostraram uma melhor associação de raios-X

com ondas decimétricas ocorrendo na cromosfera. Várias evidências sugeriram que a liberação de energia das partículas está ocorrendo na mesma região onde ocorrem explosões decimétricas (Brown et al., 1981).

Wiehl et al. (1985) classificaram as explosões decimétricas observadas com espectrógrafo na faixa de frequência de 100 a 1000 MHz, resolução temporal melhor que 100 ms e resolução em frequência de 3 MHz, de acordo com a duração e a largura da banda de frequência dos elementos individuais de um evento. A diferença na constante de tempo das explosões em ondas decimétricas (eventos rápidos ($\leq 1s$) e eventos lentos ($> 5s$)) foi usada para separá-los em dois grupos, conforme mostra a Tabela 3.1:

TABELA 3.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS EXPLOSÕES SOLARES DECIMÉTRICAS

GRUPO	Valores Médios	
	duração(s)	largura de banda(MHz)
TRANSIENTES RÁPIDOS		
<i>Blips</i>	0,2	57
<i>Ordered Blip</i>	1,0	93
<i>ms-Spike</i>	< 0,1	10
<i>Fast-drift III_{dm}</i>	0,7	285
<i>III_{dm}</i>	0,8	408
<i>Quasiperiodic</i>	0,6	470
TRAP		
<i>Synchrotron</i>	>5	> 1.000
Tipo IV	>5	< 1.000
<i>Pach</i>	>5	< 1.000

Fonte: Adaptada de Wiehl et al. (1985), p. 55.

Fonte: Adaptada de Wiehl et al. (1985), p. 55.

Stähli e Benz (1987) estudaram pela primeira vez, explosões decimétricas na faixa de frequência de 3100 a 5200 MHz, usando observações simultâneas com o espectrômetro de microondas de Bern e o rádio espectrômetro IKARUS, de Zurich, (Suíça). A resolução temporal foi de 100 ms e 5 ms, respectivamente. Eles encontraram estruturas com duração variando entre 25 ms e 200 ms, e largura da banda de frequência de 150 MHz. As características desses eventos observados, como por exemplo o tempo de excitação (em s), o tempo de decaimento (s) e a taxa de deriva (df/dt /seg), mostram que essas explosões são possivelmente semelhantes às do tipo III métricas, cujo exemplo é mostrado na Figura 2.2.

Observações com alta sensibilidade, resolução temporal e resolução em frequência, realizadas nos últimos anos, levaram à descoberta de várias estruturas finas (≈ 100 ms) e desenvolveram novas teorias de plasma de interação feixe-plasma, para os processos de aceleração que ocorrem nas proximidades da região de aceleração.

Devido à grande importância das observações decimétricas já citadas, o CERSA - Committee of European Solar Radio Astronomers- já realizou três *workshops* para discutir as observações decimétricas e a importância das mesmas, fornecendo informações para futuras observações

- "Radio Continuum During Solar Flares" Duino, Italy, May, 1985
(Ed. Benz, 1986a);

- "Workshop on Radio Continuum During Solar Flares", Aubigny, France, 22-26 June, 1986; (Ed. Trotter, G. e Sawant et al., 1986),

- "Short Duration Radio Emission During Solar Flares", Braunwald Switzerland, August, 21-25, 1989 (Ed. Solar Physics, Sawant)

Durante estas sessões de trabalho, ficou evidenciado que as observações de estruturas finas em ondas decimétricas são de fundamental importância para o estudo dos:

- a) processos de aceleração de elétrons,
- b) processos de liberação de energia nos "flares" solares, e
- c) para o desenvolvimento de teorias de plasma baseadas em processos de interação do feixe de elétrons com o mesmo. Foi fortemente recomendado a necessidade de observações das explosões solares em ondas decimétricas, com alta sensibilidade e alta resolução em tempo e frequência.

Existe portanto, uma lacuna de observações na faixa de frequência de 3000 MHz a 1000 MHz, com alta sensibilidade ($\geq 0,01$ u.f.s.) e resolução temporal (Sawant et al., 1982). Radiômetros que operam em ondas métricas, em todo o mundo e de vários tipos são citados na Tabela 3.2, que mostra claramente a falta de observações em 1663 MHz, com resolução temporal de 3 ms e alta sensibilidade.

Pretendemos com nosso trabalho, preencher parte dessa lacuna existente nas observações em ondas decimétricas, com alta sensibilidade e resolução temporal, simultâneas com observações em diferentes frequências. Com esse objetivo em mente, realizamos observações na frequência de 1663 MHz alta resolução temporal e sensibilidade, no Observatório de Itapetinga - Atibaia, em Julho de 1985. Utilizamos dados de outros Observatórios, para um estudo de correlação temporal, tais como :

- a) fotos H- α do Observatório de Debrecen-Hungria ;

- b) espectro dinâmico do Observatório de Zurich-Suíça na faixa de frequência de 100 - 1000 MHz;
- c) dados em ondas métricas, do Observatório de Trieste- Itália,
- d) raios-X do satélite SMM, da NASA-USA.

TABELA 3.2 - OBSERVATÓRIOS SOLARES INSTALADOS NA SUPERFÍCIE TERRESTRE PARA OBSERVAÇÕES DAS EXPLOSÕES SOLARES E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Tipos de observações	Frequência MHz	Resolução (Frequência) kHz	Resolução Temporal (ms)	Sensibilidade 10^{-22} W/m ² Hz (= 1 S.F.U.)	Instituição
Espectroscópio	10 - 100 100 - 500	15 - 200 200	100 100	220 50	Meudon (França)
Rádio Heliógrafo	169	-	100		
Espectroscópio	30 - 1000	300	1000 (1 s)	500	Tubingen (Alemanha)
Frequência Fixa "Spot Frequency"	408 327 237	100	25	≤ 1	Trieste (Itália)
Espectroscópio	100 - 4000	150 - 1500	100	< 0.5	Zurich (Suíça)
Frequência Fixa "Spot Frequency"	3700 5800 8300	150	100	-	Bern (Suíça)
Espectrógrafo Decimétrico AS - RTF	(1600 ± 50)MHz	100 kHz	20	≤ 0.5	São José dos Campos (Brasil)

3.2 - O RADIÔMETRO DE 1663 MHz

Para as observações do Sol em ondas decimétricas na frequência de 1663 MHz, foi utilizada a antena de 13,7 m de diâmetro do Observatório do Itapetinga, Atibaia. Elas foram obtidas com polarização circular à esquerda e direita (L e R), com resolução temporal de 3 ms e sensibilidade de 0,01 u.f.s.

O sinal de saída do receptor foi registrado, juntamente com as marcas de tempo num gravador analógico marca Ampex PR 2230 de sete canais, e em um registrador térmico de sete canais, marca HP-7418-A. Os dados foram armazenados em fitas magnéticas. Após as observações, os dados foram digitalizados utilizando-se um osciloscópio digital Tektronics 5223, com resolução temporal de 3 ms, e um micro computador marca HP.

A seguir fornecemos informações detalhadas do radiômetro utilizado.

3.2.1 - O RECEPTOR DE 1663 MHz

O receptor de 1663 MHz foi aproveitado da montagem realizada pelo Observatório de Paris-Meudon/França, e instalado em junho de 1985, no Observatório de Itapetinga, Atibaia, beneficiado pelo Programa VEGA. O diagrama do receptor e o sistema de aquisição de dados está descrito na Figura 3.1, e possui as seguintes características :

- figura de ruído : 3 db;
- frequência intermediária (FI): \approx 300 MHz;
- resolução temporal : 3 ms;
- escala dinâmica : 35 dB, e
- sensibilidade : 0,05 u.f.s.

3.2.2 - CALIBRAÇÃO DE ANTENA / CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE ABERTURA DO FEIXE (ϵ_{AP})

A calibração de antena na frequência de 1663 MHz, foi realizada usando como fonte de referência padrão, Taurus-A. A temperatura de antena de Taurus-A em 1663 MHz foi medida

experimentalmente e obteve-se o valor 23 K, já corrigido devido à redoma (Roselen, 1985).

A eficiência de abertura do feixe pode ser obtida da equação (Krauss, 1966) :

$$S_T = 2 k T_{AT} / A_e \quad , \quad (3.1)$$

onde:

S_T - intensidade de fluxo da fonte (Taurus-A) (W/m^2Hz);

T_{AT} - temperatura de Taurus-A , e

A_e - área efetiva de antena ($A_e = \epsilon_{AP} \cdot A_F$ onde ϵ_{AP} é a eficiência de abertura do feixe e A_F é a área física da antena).

A intensidade de fluxo para Taurus-A foi obtida pelo método de calibração de antena de Guidice e Castelli (1971), descrito pelas equações

$$S(\nu) = [S(\nu_j) / S(\nu_k)]^{\tau(\nu)} \times S(\nu_k) \quad , \quad (3.2)$$

$$\text{onde } \tau(\nu) = \log(\nu/\nu_j) / \log(\nu_j/\nu_k) \quad (3.3)$$

e $S(\nu)$ - densidade de fluxo na frequência ν , intermediária de ν_j e ν_k , e

$S(\nu_j)$ e $S(\nu_k)$ - densidades de fluxo nas frequências ν_j e ν_k .

As frequências ν_j e ν_k utilizadas foram 960 e 1600 MHz, enquanto que a frequência intermediária foi 1030 MHz. Obtivemos, para a intensidade de fluxo de Taurus-A em 1600 MHz, o valor:

$$S_T = 742 \times 10^{-26} \text{ W/m}^2\text{Hz}.$$

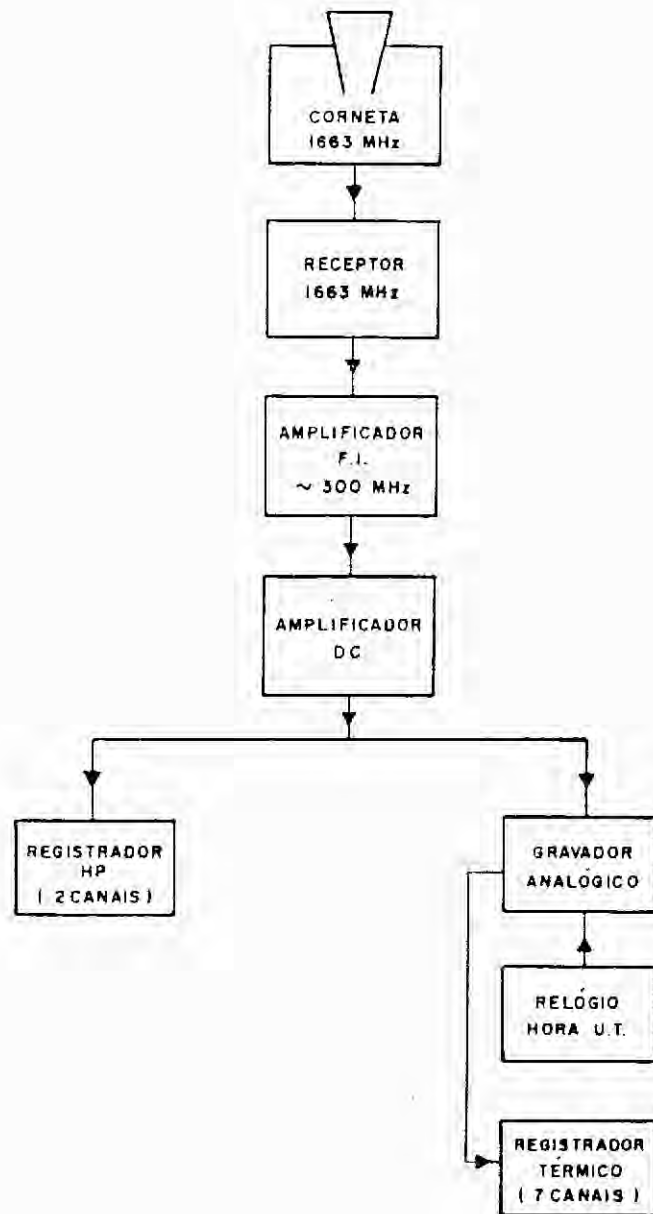


Fig. 3.1 - Diagrama do Receptor de 1,6 GHz e sistema de aquisição de dados.

Finalmente, calculamos a eficiência de abertura do feixe (ϵ_{AP}) da Equação 3.1 que pôde ser reescrita como

$$\epsilon_{AP} = [2 k T_{AT}] / [A_F \cdot S_T] , \quad (3.4)$$

onde:

T_{AT} - temperatura de antena de Taurus-A (23 K);

A_F - área física da antena ($147,41 \text{ m}^2$), e

S_T - intensidade de fluxo de Taurus-A ($742 \cdot 10^{-26} \text{ W/m}^2\text{Hz}$).

Substituindo-se esses valores, em (3.4), conseguimos :

$$\epsilon_{AP} = 0,58$$

para a eficiência de abertura que, corrigido para a antena com redoma, resultou em

$$\epsilon_{AP} = 0,52 .$$

3.2.3 - CÁLCULO DA TEMPERATURA DE ANTENA DO SOL (T_{AS})

A temperatura de antena do Sol foi calculada utilizando-se a Equação 3.1 e trocando a fonte, que passa a ser agora o Sol. Chamando de S_S a intensidade de fluxo do Sol calmo para a frequência de 1,6 GHz (em $\text{W/m}^2\text{Hz}$), e T_{AS} a temperatura de antena para o Sol (em K), então de acordo com Guidice e Castelli (1971), a Equação 3.1 resulta em

$$S_S = [2 k T_{AS} K] / A_e , \quad (3.5)$$

onde K - fator de correção da antena.

O fator 2 em (3.5) foi desprezado já que se observou em duas polarizações. O fator de correção da antena K, na Equação 3.5 é utilizado no caso de fontes de rádio em forma de disco circular, de temperatura de brilho uniforme como é o caso do Sol, quando o diâmetro angular da fonte é maior que $\approx 1/5$ da largura do feixe à meia potência. Nesse caso, a temperatura de antena depende deste fator de correção que é dado em função do diâmetro angular da antena (largura do feixe), segundo a relação fornecida por Guidice e Castelli (1971)

$$K \approx [1 + 0,18 (\theta_d / \theta_{HP})^2]^2 \quad (3.6)$$

onde:

θ_d - diâmetro da fonte (em '), e

θ_{HP} - diâmetro do feixe da antena (em ').

Para $\theta_d = 32'$ e $\theta_{HP} = 51'$, o valor de K é

$$K = 1,1467.$$

O valor da largura do feixe à meia potência ($\theta_{HP} = 51'$) para a frequência de 1663 MHz foi calculado experimentalmente usando Taurus-A como rádio fonte. Por sua vez, se D é a diretividade e λ o comprimento de onda (em m), a área efetiva (A_e) poderá ser calculada através da equação

$$A_e = [D \lambda^2] / 4 \pi \quad (3.7)$$

A diretividade vem de (Krauss, 1966) vale

$$D = [41.253 \text{ EM}] / [k_p \theta_{HP} \phi_{HP}] \quad (3.8)$$

em que:

η - eficiência do feixe ($\approx 0,55$);

k_p - fator dependente da figura de antena (em geral $k_p \approx 1$);

θ_{HP} - largura do feixe à meia potência (em $^\circ$), no plano θ , (51/60), e

ϕ_{HP} - largura do feixe à meia potência (em $^\circ$), no plano ϕ , (51/60).

Substituindo-se os valores obtidos nas Equações 3.7 e 3.8, obtivemos para a diretividade, o valor

$$D=31404 \quad ,$$

e, para a área efetiva,

$$A_e = 81 \text{ m}^2.$$

Substituindo-se na Equação 3.5 os valores obtidos, e, usando-se $S_S = 65$ u.f.s., encontramos para a temperatura de antena do Sol o valor

$$T_{AS} = 1,6 \times 10^4 \text{ K.}$$

A intensidade de fluxo de 65 u.f.s., representa o valor médio durante o mês de julho de 1985, para o Sol calmo, em 1,4 GHz (Solar Geophysical Data, 1985).

3.2.4 - DENSIDADE DE FLUXO DO SOL CALMO

Para o mesmo cálculo da temperatura de antena, pode-se também usar o valor da densidade de fluxo do Sol calmo, calculado pela equação de Guidice e Castelli (1971).

O valor da densidade de fluxo do Sol, em uma dada frequência de observação pode ser calculada por interpolação entre essas duas grandezas. Assume-se que entre duas frequências quaisquer nas quais são observados valores diários de densidade de fluxo observados, a densidade possa ser representada por uma lei de potência $S \propto \nu^\beta$, onde β é uma constante (Guidice e Castelli, 1971). Dadas as densidades de fluxo $S(\nu_j)$ e $S(\nu_k)$, 65 e 77 u.f.s. que foram obtidas nas frequências de 1415 e 2695 MHz (valores diários) respectivamente, (Solar Geophysical Data, 1985), o valor da densidade de fluxo do Sol calmo em 1663 MHz, obtido através de (3.2) e (3.3) vale (Guidice e Castelli, 1971)

$$S_S(1663 \text{ GHz}) = 67 \text{ u.f.s.}$$

Substituindo-se essa densidade de fluxo na Equação 3.5, o valor da temperatura de antena fica próximo ($1,7 \times 10^4 \text{ K}$) do valor calculado anteriormente ($1,6 \times 10^4 \text{ K}$).

3.2.5 - SENSIBILIDADE DO RECEPTOR DE 1663 MHz

A sensibilidade do receptor de 1663 GHz (mínima intensidade de fluxo detectável) pode ser calculada teoricamente por (Krauss, 1966)

$$\Delta S_{\min} = k (T_{BG} + T_{SY}) / A_e \times (\Delta\nu \times \Delta\tau)^{1/2}, \quad (3.9)$$

onde:

- ΔS_{\min} - mínima intensidade de fluxo detectável;
- T_{BG} - temperatura do Background Galático (10.000K);
- T_{SY} - temperatura do sistema (300 K);
- A_e - área efetiva da antena (81 m^2);
- $\Delta\nu$ - largura de banda (100 MHz), e
- $\Delta\tau$ - constante de tempo (0,003 s).

Em nosso caso, a sensibilidade mínima detectável vale :

$$\Delta S_{\min} = 0,05 \times 10^{-22} \text{ W/m}^2\text{Hz} , \text{ ou}$$

$$\Delta S_{\min} = 0,05 \text{ u.f.s.} .$$

3.3 - PERÍODO DE OBSERVAÇÕES

As observações solares em 1663 MHz foram realizadas no período de 1 a 13 de julho de 1985. O Sol foi rastreado das 11 às 20 horas UT diariamente, totalizando 120 horas de observações. As atividades observadas aparecem mostradas na tabela 3.3, juntamente com as atividades em outras frequências. A localização das regiões ativas observadas nos dias 7, 8 e 9 de Julho de 1985 estão na Figura 3.2, e corresponderam aos dias de maior atividade (Solar Geophysical Data, 1985). No período de 7 a 10 de julho foram observados 5 intervalos de explosões solares de baixo nível de intensidade, sendo que os eventos de mínima intensidade detectada foram de 1,2 u.f.s. e os mais intensos não passaram de 13,5 u.f.s.

A maioria dos eventos observados neste período foram do tipo *spike-ms* e *blips*, aparecendo também eventos tipo III-dm, tipo III-RS, *homólogos* e *homólogos-like* . A seguir, mostramos as características dos principais tipos de eventos observados na faixa de frequência de 100 a 1000 MHz, principalmente os eventos observados e investigados neste trabalho :

EXPLOSÕES TIPO *BLIP*

1) Aparecem na fase impulsiva do *flare* , em frequência acima de 500 MHz, sendo que nós mostramos pela primeira vez observações de

blips acima de 1000 MHz;

2) Estão associados com raios-X duros em 40 % dos casos;

3) A largura de banda instantânea de frequência é 0,2 % de f , onde f é a frequência observada, e é muito menor do que no caso de decimétricas;

4) Tempo de decaimento: varia com a frequência de observação (≈ 100 ms para $600 < f < 1000$ MHz);

5) Tempo de subida é ≈ 25 % menor do que o tempo de decaimento.

6) A taxa de deriva é geralmente negativa (valor médio ≈ 400 MHz/s);

7) Polarização : fraca (de 10 à 30 %) Benz (1981, 1983).

EXPLOSÕES TIPO SPIKE-MS

1) Faixa de frequência : a maioria de 300 - 3000 MHz;

2) Largura de banda instantânea de frequência $< 0,01$ % f (onde f é a frequência de observação);

3) Duração : < 100 ms;

4) Tempo de subida: muito rápido ≈ 3 ms (fica no limite da resolução temporal);

5) Polarização circular: varia de 0 à 100 %. Em geral fica entre 25 e 30 %;

- 6) Taxa de deriva : em geral é negativa (< 20 MHz/s);
- 7) Temperatura de brilhância: $> 10^{15}$ K;
- 8) Densidade de fluxo: 10^2 a 10^4 u.f.s..

Nós mostramos pela primeira vez, observações de *spikes* isolados com fluxos variando entre 1,2 e 14 u.f.s.

EXPLOSÕES HOMÓLOGAS EM RÁDIO

Possuem perfis temporais semelhantes que se repetem por alguns intervalos de tempo e são observadas em todos os tipos de emissão (Trevisan, et al, 1990b).

EXPLOSÕES *HOMOLOGOS-LIKE*

São variações das explosões homólogas. São consecutivas, de "pico-duplo" e a razão da duração entre dois picos para a duração total do evento permanece aproximadamente constante. Foram observadas pela primeira vez em rádio em 1663 MHz (Sawant et al., 1987b).

Os *flares homologos* em H- α foram observados associados com *homologos* e *homologos-like* das explosões em microondas citadas acima.

Nos próximos capítulos discutiremos as observações características e interpretaremos as explosões citadas neste. Incluiremos as nossas observações procurando mostrar a sua importância em relação à fase impulsiva do flare.

TABELA 3.3 - OBSERVAÇÕES SOLARES EM RÁDIO, OBTIDAS EM ITAPETINGA ATIBAIA (BRASIL) NA FREQUÊNCIA DE 1,6 GHz, E OUTRAS ATIVIDADES ASSOCIADAS

DATA	PERÍODO DE ATIVIDADE DE 1,6 GHz (UT)	TIPO DE ATIVIDADE 1,6 MHz	FASE H - α CIC. MAX	DAP	LOCAL	BARRAS EM RÁDIO		606 MHz	TEMPERATURA DE RÚDIO 169 MHz
						UT/2800 MHz UT/ FLUXO	2695 MHz UT/		
07/07/85	16 32:00-16 33:31	Transientes ras. na maioria semina de ns	17:00- 17:47- 18:20 SF		S21471	16 32:12-16 32:36	16 32:36-16 32:56	-	Início
08/07/85	14 57:30-14 58:20	Barras	14:37- 14:52- 14:45	-	-	13 30 - 15 35 SF	3.8 Max	-	Máximo
09/07/85	15 30:25-15 30:57	Barras com duração de 1 seg.	-	-	-	15 40 - 17 00 SF	-	-	-
10 //85	14 43:53-14 44:01	Barras com duração de 0,2-3 seg	16:46- 16:51- 17:07 SB	-	S10434	-	-	16 46:25-16 54:00 50	No limbo Oeste
			-	-	-	PALE	14 43:10-14 44:15	14 43:10-14 44:15	9 H.F.S.

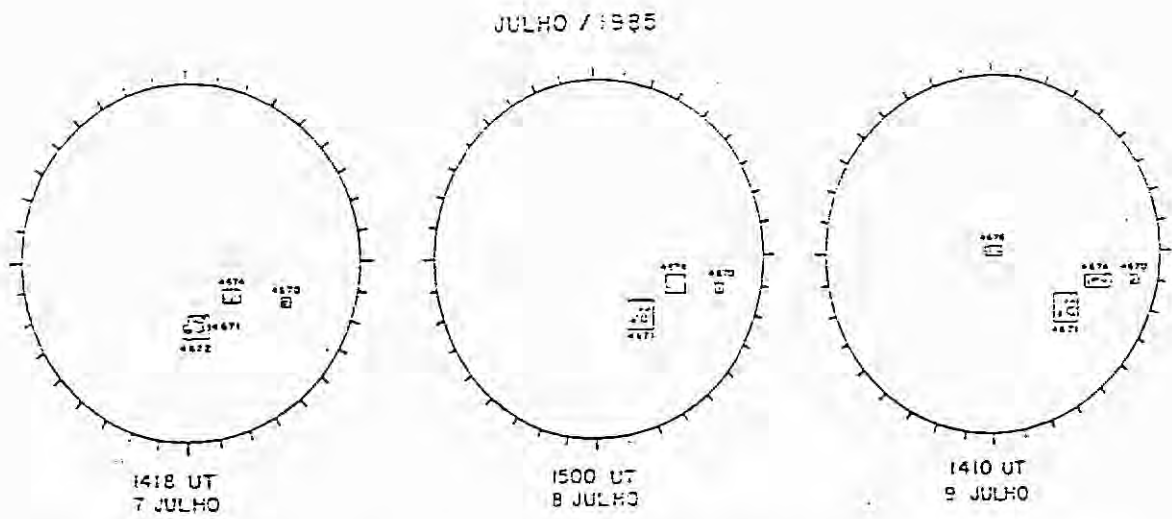


Fig. 3.2 - Localização das Regiões Ativas no período de 7 a 9 de julho de 1985 .

Fonte: Solar Geophysical Data, (1985), p. 66.

CAPÍTULO 4

SPIKES DE MILISEGUNDOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Os *spikes* de duração de milisegundos das explosões solares em rádio, são conhecidos há quase três décadas. Entretanto, sua associação com raios-X duros e alta temperatura de brilhância têm despertado mais recentemente, o interesse dos teóricos em seu estudo (Stahly e Magun, 1986; Benz, 1986; Mckean et al., 1990; Güdel e Benz, 1990). Suas principais características são : duração total (≤ 100 ms), alta polarização circular (até 100 %), elevadas temperaturas de brilhância ($> 10^{10}$, até 10^{15} K), e estruturas menores que a resolução instrumental em frequência ($\approx 0,5$ MHz).

As primeiras explosões em rádio, com duração menor que 100 ms, foram observadas por Droge e Riemann (1961) e resumidas por Droge (1967) e Malville et al. (1967).

Na década de 60, as observações de *spikes* foram realizadas no intervalo de frequência de 200 à 350 MHz. Barrow e Saunders (1972) encontraram *spikes* em 18 - 26 MHz associados com estruturas tipo III, sem contudo, confirmar suas observações através de medidas espectrais. Em 1977, Droge observou *spikes* de milisegundos no intervalo de frequência de 200 a 1400 MHz. Ele conseguiu identificar estruturas finas de duração que variam entre 10 a 100 ms, e intensidade acima de 10^3 u.f.s., chegando a 25×10^3 u.f.s., na frequência de 1400 MHz.

Os primeiros *spikes* de milisegundos em ondas centimétricas foram observados por Slottje (1984) na frequência de 2650 MHz. As intensidades de fluxo desses eventos foram de 10^3 à 10^4 u.f.s..

Muitos deles possuíam duração total à meia potência menor que a resolução instrumental (20 ms), sendo que 95 % dos eventos possuíam duração abaixo de 40ms. Todos os eventos eram polarizados circularmente à esquerda e a estimativa do tamanho da fonte ficou entre 30 e 300 km para uma temperatura de brilhância $\approx 10^{15}$ K.

Ao observarem pela primeira vez na frequência central de 3470 MHz, com largura de banda de 200 MHz, e resolução instrumental de 5 ms, Stahly e Magun (1986) detectaram eventos (*spikes*) com duração menor que 10 ms. A intensidade máxima foi de 260 u.f.s.; as temperaturas de brilhância ficaram entre 10^{10} e 10^{12} K, e a estimativa do tamanho da fonte entre 50 e 100 km. Eles descobriram *spikes* em frequências maiores que 5200 MHz. Mais recentemente, Bruggmann et al. (1990), observaram *spikes* em até 7000 MHz. Mckean et al. (1990), mostraram, pela primeira vez, que alguns desses *spikes* apresentam variações de *drift-rate* da ordem de GHz/s. Existe uma grande evidência de que esses *spikes* sejam originados nas proximidades da região de aceleração de partículas (Benz, 1986b). Cerca de 10.000 *spikes* foram encontrados associados à fase impulsiva do fenômeno do *flare*. A questão fundamental é se elas são radiações originais dos *flares* (i.e., emissão durante a aceleração das partículas) ou de natureza secundária (i.e., são geradas após a aceleração e deslocamento de partículas). Considerando-se que a radiação seja de natureza original, sua observação e interpretação é de grande importância para a física do *flare*.

Neste trabalho, nós detectamos *spikes* de milisegundos na frequência de 1663 MHz, com alta sensibilidade e alta resolução temporal (3 ms) sendo que, pela primeira vez, esses eventos foram detectados com baixíssima intensidade de fluxo. O pico de máxima intensidade não ultrapassa 14 u.f.s..

As observações de *spikes* de milisegundos são de fundamental importância para o diagnóstico das partículas energéticas e para a Astrofísica de Plasma, devido a uma possível relação íntima com a aceleração de elétrons e/ou liberação de energia para os *flares* solares.

4.2 - ASPECTOS TEÓRICOS

Atualmente, acredita-se que o processo mais favorável à emissão dos *spikes* é o processo de emissão *Ciclotron* ou *Electron-Ciclotron-Maser*. Segundo Dulk et al. (1982), a seqüência do processo é a seguinte:

1) A liberação de energia no *loop* magnético acelera elétrons e produz uma distribuição isotrópica de elétrons térmicos ($T \approx 10^8 \text{K}$) ou do tipo *power-law* ($E \approx 30 \text{ keV}$). A velocidade típica dos elétrons acelerados é $v \approx 0,2 c$ (Figura 4.1).

2) Os elétrons com pequenos ângulos de pitch, precipitam-se para os pés do *loop*, para a região de transição e cromosfera, e se perdem.

3) Os elétrons com grandes ângulos de pitch refletem no campo magnético convergente da coroa. Nesse caso, a distribuição de elétrons $f(v)$ nas pernas do *loop* é anisotrópica; isto é, um cone de perda unilateral sem elétrons de ângulo de pitch subindo. Esta anisotropia é a fonte para a energia livre que dirige o *maser* (Figura 4.2). Para um determinado local, em uma das pernas do *loop*, a função de distribuição do elétrons idealizada no espaço $(v_{\parallel}, v_{\perp})$, mantém-se conforme é mostrado na Figura 4.3.

Nesse caso, a emissão giromagnética ou de absorção no s -ésimo harmônico ocorre quando a condição de ressonância é satisfeita, onde:

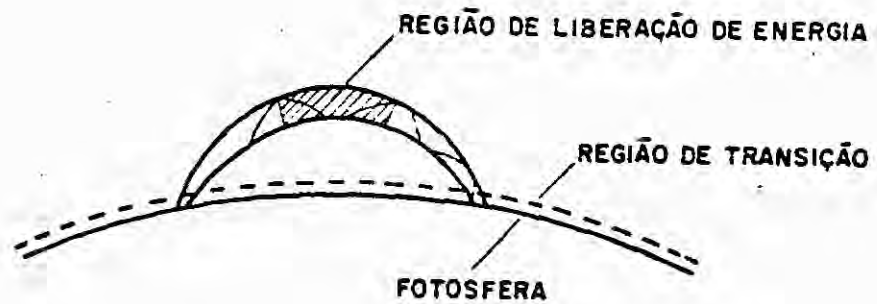


Fig. 4.1 - Liberação de energia no *loop* magnético acelerando elétrons e produzindo uma distribuição isotrópica de elétrons térmicos (10^8 K) ou do tipo *power-law* ($E \approx 30$ kev).

Fonte: Dulk et al. (1982), p. 73.

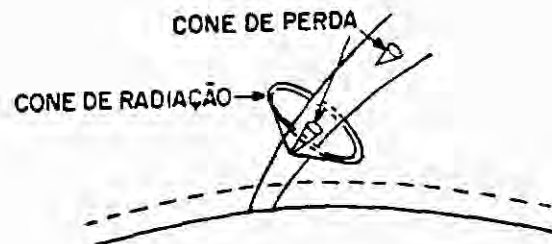


Fig. 4.2 - Distribuição anisotrópica de elétrons nas pernas do *loop* magnético: cone de perda unilateral com nenhum elétron de ângulo de Pich subindo.

Fonte: Dulk et al. (1982), p. 73.

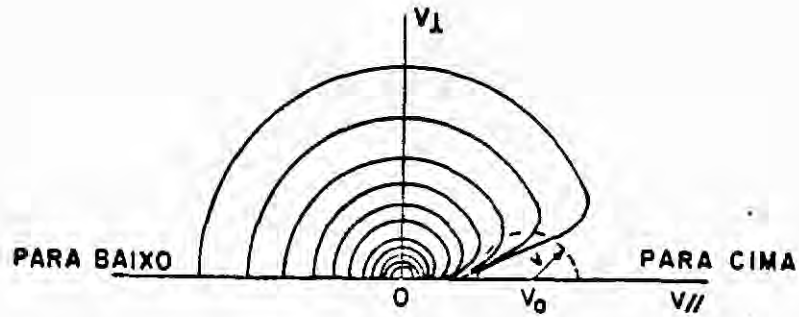


Fig. 4.3 - Função de distribuição de elétrons idealizada no espaço $(v_{||}, v_{\perp})$.

Fonte: Dulk et al., (1982), p. 73.

$$(\omega - s \cdot \Omega_e / \xi) - k_{||} \cdot v_{||} = 0 \quad (4.1)$$

s - número do harmônico ;

ω - frequência angular;

$k_{||}$ - vetor de onda, paralelo ao campo magnético;

$v_{||}$ - componente da velocidade do elétron paralela ao campo magnético B;

Ω_e - frequência de elétron-cíclotron ($\Omega_e = e \cdot B / m_e c$);

e - carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C);

m_e - massa do elétron ($9,11 \times 10^{-31}$ kg), e

ξ - coeficiente relativístico ($\xi = 1/(1 - v^2/c^2)$).

Se $\omega_p \ll \Omega_e$, a razão do crescimento do s ésimo harmônico ($\xi(k)$), para as ondas será da forma

$$\zeta_s(k) = \int d^3p A_s(p, k) \delta(\omega - s \Omega_e / \xi - k_{||} v_{||}) \cdot [(s \Omega_e / \xi v_{\perp}) \delta / \delta p_{\perp} + k_{||} \delta / \delta p_{||}] f(p) \quad (4.2)$$

onde :

- $A_s(p,k)$ - função complexa (ver apêndice);
- p - momento linear ($p = \xi mv$), e
- \parallel e \perp - funções paralelas e perpendiculares ao campo magnético B , respectivamente.

Nesse caso, a instabilidade *electron - ciclotron - maser* satura mais rápido ($< 1 \mu s$) do que o tempo de duração do *spike* de milisegundos ($< 100 ms$). A razão de crescimento dessa instabilidade é muito alta e o *maser* satura numa escala de tempo também alta se comparada com outras escalas temporais.

A temperatura de brilhância T_B pode ser estimada por (Melrose e Dulk, 1982)

$$T_B = m_e \cdot v_0^2 (2\pi c / \omega)^2 / D \cdot r_0, \quad (4.3)$$

onde:

- v_0 - velocidade média dos elétrons radiantes;
- r_0 - raio clássico do elétron;
- D - comprimento do *trap* ;
- ω - frequência angular , e

com $\Delta\omega/\omega \approx v_0^2/c^2$, e $\omega/2\pi \approx 3 \text{ GHz}$ e $D \approx 10^{10} \text{ cm}$, a Equação 4.3 reduz-se a

$$T_B \text{ (K)} \approx 10^{15} \Delta\omega / \omega ,$$

que representa uma relação linear entre T_B e a largura de banda relativa dos *spikes*. Essa relação só é válida se a saturação for decorrente da radiação fundamental que, em geral, cresce muito rápida. A duração da excitação dos *spikes* (D_0) independe do tempo de decaimento medido em I/e . Para os *spikes* em milisegundos, D_0 é aproximadamente

igual ao valor médio da duração total do evento em I/10 e é dada, empiricamente, por uma lei de potência que varia com o inverso da frequência de observação f (em MHz). Assim,

$$D_o = 0,0325 (f/661)^{-1,49 \pm 0,17}, \quad (4.4)$$

Essa relação de tempo e frequência não leva ainda à conclusões finais mas a uma discussão sobre a natureza do agente excitador. Do ponto de vista da análise dos perfis temporais, as opções abaixo são mantidas em aberto para discussões :

a) o agente excitador possui comprimento finito e viaja (para cima e para baixo) na coroa. Assim o perfil temporal representaria a passagem desse agente através de uma camada correspondendo à largura de banda do canal observado(quando se assume a hipótese de plasma);

b) o agente excitador emite, simultaneamente, em todas as frequências onde o *spike* é observável, correspondendo a uma camada numa dada altura das frequências observáveis. A função de excitação representaria somente uma descrição temporal do processo de emissão, e

c) o perfil temporal pode ser uma combinação de ambos, de modo que se uma perturbação começasse um processo de emissão característica após a passagem do agente através da camada observada , o perfil temporal resultante poderia ser uma convolução do perfil temporal do agente atravessador e da emissão induzida.

A relação entre o tempo de decaimento em I/e e a frequência de observação (f), é dada através da relação

$$t_D = 0,0165 (f/661)^{-1,06 \pm 0,06}, \quad (4.5)$$

onde t_D é o tempo de decaimento do evento (s).

O tempo de decaimento dos *spikes* é uma ordem de grandeza menor que o tempo de decaimento dos eventos tipo III . Muito embora nos trabalhos precedentes foram feitas várias objeções ao amortecimento *colisional Damping* para as explosões tipo III e as elevadas temperaturas coronais estejam em contradição com a interpretação do mesmo, o comportamento do decaimento dos *spikes*, por ser uma ordem de grandeza menor, está de acordo com os modelos teóricos (Alvarez e Haddock, 1973). Portanto, não há contradições para que o decaimento do *spike* seja explicado pelo Mecanismo de Amortecimento *Colisional Damping* (Güdel e Benz, 1990).

4.3 - OBSERVAÇÕES

A seguir, resumiremos os dados obtidos com as observações nas frequências de 1663 e 408 MHz.

4.3.1 - DADOS OBTIDOS NO BRASIL; 1663 MHz

No dia 7 de julho de 1985, por volta das 16 32:00 UT foi observado em 1663 MHz um período de 100 s de atividades sendo que, 35 desses eventos eram do tipo *spike* de milisegundos, isolados ou em grupos. Os eventos apresentavam somente polarização circular à direita e eram de baixa intensidade (variando de 1,2 u.f.s. a 13,5 u.f.s.). Os eventos de menor fluxo observado foram no mínimo, uma ordem de grandeza menor do que os eventos observados por Dröge (1967) em 1420 MHz e por Tapping et al. (1983) em 1663 MHz. Nenhum *flare* óptico ($H-\alpha$) associado foi registrado pelo Solar Geophysical Data (Solar Geophysical Data, 1985). Alguns *spikes* de milisegundos foram encontrados mostrando-se superpostos a outros. Não foi encontrada nenhuma periodicidade na ocorrência dos *spikes* de milisegundos. Durante esse período, foram registradas atividades coincidentes em 2800 MHz (Ottawa) e em 2695 MHz (Solar Geophysical Data, 1985). Essas atividades estão mostradas na Tabela 3.3. O *spike* de milisegundos mais intenso (13,5

u.f.s.) foi observado às 16 32:36 UT (Figura 4.4, junto com outros dois exemplos). Antes e durante o período de atividade de spikes de milisegundos, não foi detectado aumento do nível de background contínuo. A duração média à meia potência de 60 % dos spikes foi menor que 20 ms, sendo que a duração total à meia potência foi de 5 a 100ms. O *rise-time* dos eventos em I/e variavam entre 3 e 45 ms e o tempo de decaimento de 5 a 70 ms, sendo que o valor médio foi estimado em $\approx 11(+/- 1,25)$ ms.

4.3.2 - DADOS OBTIDOS NA ITÁLIA: 408 MHz.

No dia 9 de março de 1989, entre 13 05:20 UT e 13 07:45 UT foi observado na frequência de 408 MHz, em Trieste, Itália, um período de intensa atividade, revelando cerca de 324 eventos tipo *spike* de milisegundos, a maioria em grupos. Os eventos apresentavam polarização circular à direita, e 88 % desses eventos apresentavam-se totalmente polarizados. A intensidade variou de 60 a 370 u.f.s.. Em associação com esses eventos ocorreram 2 flares em H- α (ver Tabela 4.1; Solar Geophysical Data, 1989), e outras atividades registradas: em 2695 MHz e 8800 MHz (Sagamore Hill), e em 8800 MHz (San Vito). A Figura 4.5 mostra um trecho do intervalo compreendido entre 13 06:18 e 13 06:32 UT, onde aparece o evento mais intenso (375 u.f.s.). A duração total dos eventos à meia potência variou de 40 a 75 ms. Assumindo-se que o *rise-time* dos spikes de 408 MHz seja a metade do tempo total, sugerimos que o valor do *rise-time* destes eventos variou entre 20 e 37 ms.

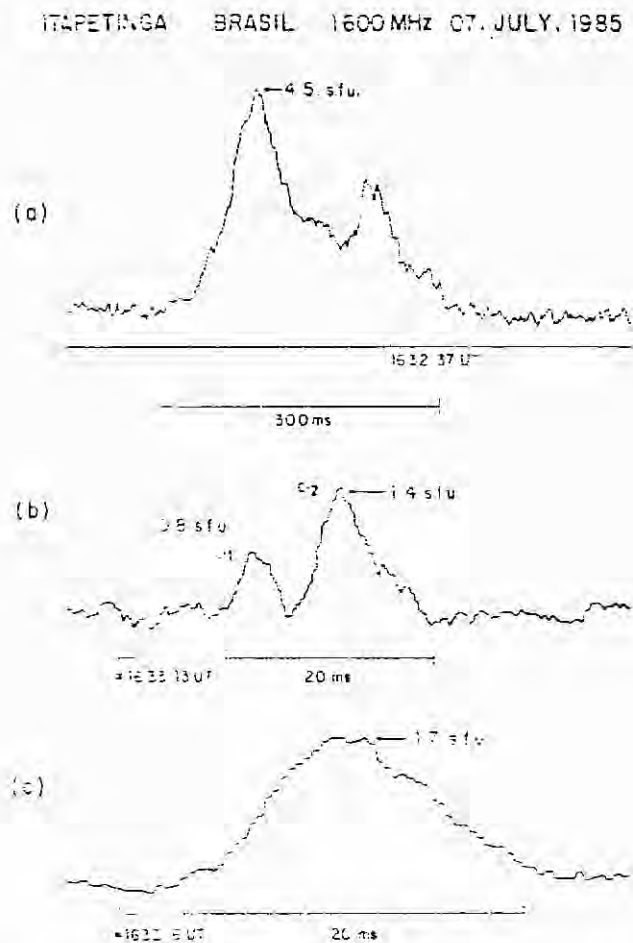


Fig. 4.4 - Exemplo de perfis temporais de intensidade de explosões tipo *spikes* de ms observados em 1663 MHz. a) Um dos *spikes* de ms mais intensos. b) Explosões tipo *spikes* em C1 e C2. A explosão tipo *spikes*-ms em C1 possui o *rise-time* e a duração total à meia potência aproximadamente igual à resolução temporal do instrumento. c) Uma explosão tipo *spike* de ms isolada.

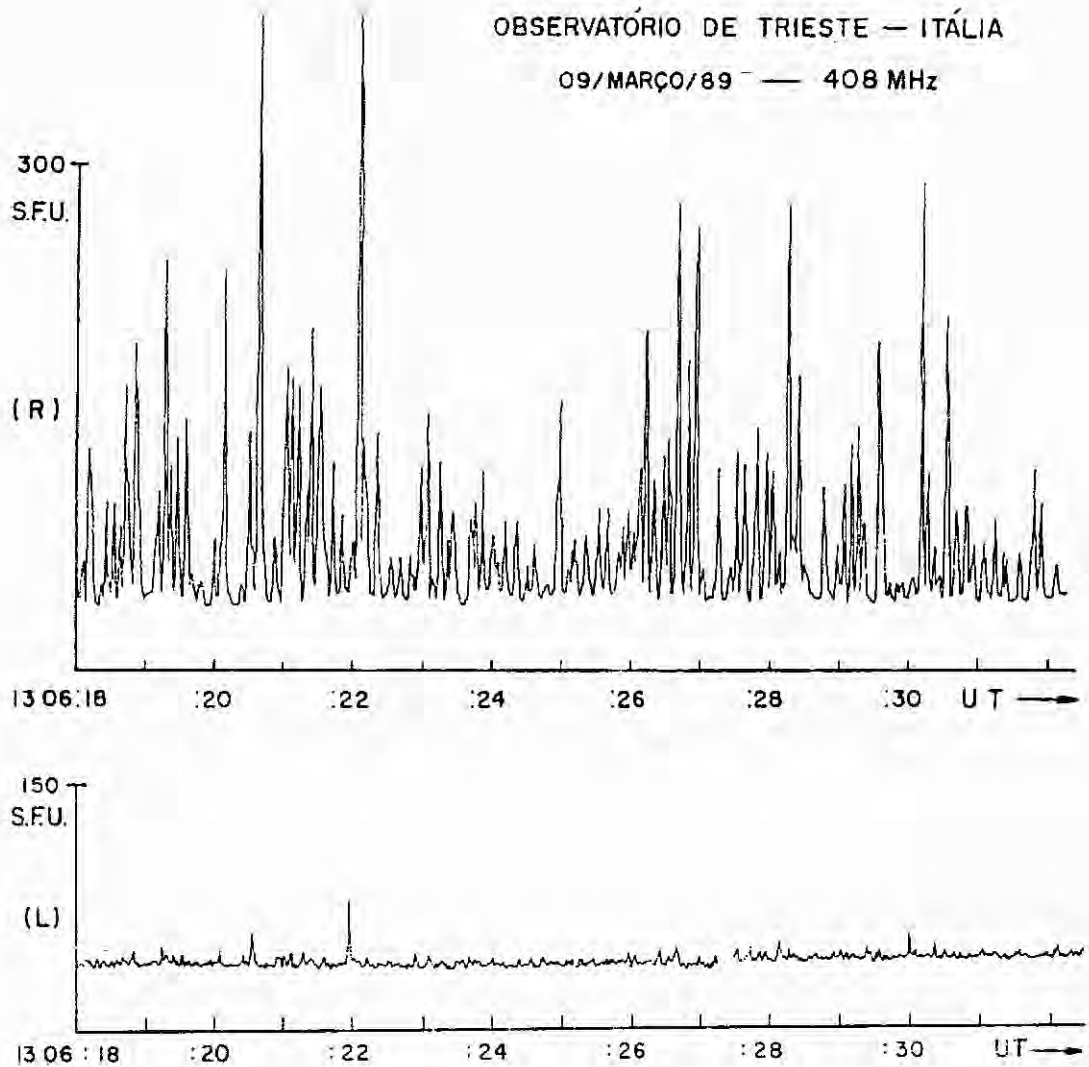


Fig. 4.5 - Atividade Solar de *spikes* de milisegundos observados na frequência de 408 MHz, em polarização circular R e L pelo Grupo de Física Solar de Trieste na Itália (ver intervalo no apêndice).

4.4 - ANÁLISE DE DADOS

4.4.1 - SPIKES EM 1663 MHz.

A temperatura de brilhância característica dos *spikes* de milissegundos ($> 10^{15}$ K) é calculada utilizando-se a equação de Rayleigh-Jeans

$$S = 2 k T_B \Omega_S / \lambda^2, \quad (4.6)$$

onde: S - intensidade de fluxo da radiação (u.f.s.);

k - constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T_B - temperatura de Brilhância (K);

Ω_S - ângulo sólido que subtende a área da fonte de emissão ($\Omega_S = \pi L^2 / d^2$ onde d é a distância Terra-Sol = $1,49 \times 10^{11}$ m e L é a dimensão da fonte, em m), e

λ - comprimento de onda da radiação observada (m) .

Para os *spikes* observados em 1663 MHz, considerando-se que a fonte de emissão é ocasionada por instabilidade m.h.d., a temperatura de brilhância (Equação 4.6) foi calculada quando substituímos os valores da dimensão da fonte (que são dados por $L = v_A \cdot \Delta t_{ev}$, onde v_A é a velocidade de Alfvén e Δt_{ev} a duração total do evento à meia potência, veja mais detalhes na equação 4.8) e intensidade de fluxo obtidos. Então,

$$1,5 \times 10^{10} \text{ K} < T_{B(1663\text{MHz})} < 6 \times 10^{13} \text{ K}.$$

Na Figura 4.6 estão traçadas as curvas das temperaturas de brilhância constantes, com a intensidade de fluxo S, em função da duração total à meia potência das observações em 1663 MHz. O corte observado na duração à meia potência (ao redor de 3 ms) é devido a limitações dos instrumentos, cuja resolução temporal é de 3 ms. A

duração à meia potência dos tempos de subida e de decaimento dos *spikes* em 1663 MHz é de 5 à 60 ms. A Figura 4.7 mostra o ponto que representa o valor médio do tempo de decaimento ($\approx 7,00(+/- 1,25)$ ms) para os *spikes* em 1663 MHz, na figura obtida por Guddel e Benz, (1990). Na Figura 4.8, o valor médio do tempo de excitação D_0 é $\approx 11(+/- 1,25)$ ms, valor esse que representa o tempo total do evento em 1/10. Nós obtivemos esse valor em 1663 MHz. Para o cálculo do valor médio, foram utilizados somente os eventos com duração total ≤ 3 vezes a resolução temporal do instrumento.

A densidade de elétrons é dada em função da frequência de plasma, f_p , e vale

$$N_e = 1,24 \times 10^{-8} f_p^2 . \quad (4.7)$$

Nas observações em 1663 MHz, nós consideramos as emissões no segundo harmônico de girosincrotron. Para sair da região de emissão de *spikes*, essas emissões devem ser originadas no local onde a densidade de elétrons for menor que a densidade de plasma correspondente. Nesse caso, encontramos para a densidade de elétrons na região de emissão de *spikes*, o valor

$$N_{e(830 \text{ MHz})} < 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} .$$

Um valor comumente aceito para o campo magnético no local de emissão é

$$B_{(830\text{MHz})} = 200 \text{ G} .$$

Assumindo que a duração do *spike* à meia potência seja governada pelo período de excitação e que o excitador (com velocidade de Alfvén) é a fonte de geração da radiação, a dimensão linear da fonte (L) será dada pela expressão

$$L = v_A \times \Delta t_{ev} \quad , \quad (4.8)$$

onde:

v_A - velocidade de Alfvén (cm/s), e
 Δt_{ev} - duração total do evento à meia potência (s).

A velocidade de Alfvén é calculada por (Melrose, 1985)

$$v_A = 2,18 \times 10^{11} B / (N_i)^{1/2} \text{ cm/s} \quad , \quad (4.9)$$

onde :

B- campo magnético (G), e
 N_i - densidade de partículas (cm^{-3}) .

Para $B = 200 \text{ G}$, $N_i = 2.N_e = 4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, a velocidade de Alfvén vale

$$v_A (830 \text{ MHz}) = 3000 \text{ km/s} \quad .$$

Sendo assim, estimamos a dimensão da fonte (Equação 4.8) para valores de tempo total dos eventos à meia potência entre 5 e 100 ms. Ela varia entre:

$$15 \text{ km} < L_{(830 \text{ MHz})} < 300 \text{ km}.$$

Como a duração total à meia potência de 60 % dos *spikes* não ultrapassa 20 ms, encontramos $\approx 60 \text{ km}$. para a dimensão da fonte. Temos como evidência para isso, as observações solares em VLBI, em 1663 MHz (Tapping et al., 1982), de *spikes* em ondas decimétricas que sugerem a possibilidade dessas fontes possuírem $L \leq 50 \text{ km}$.

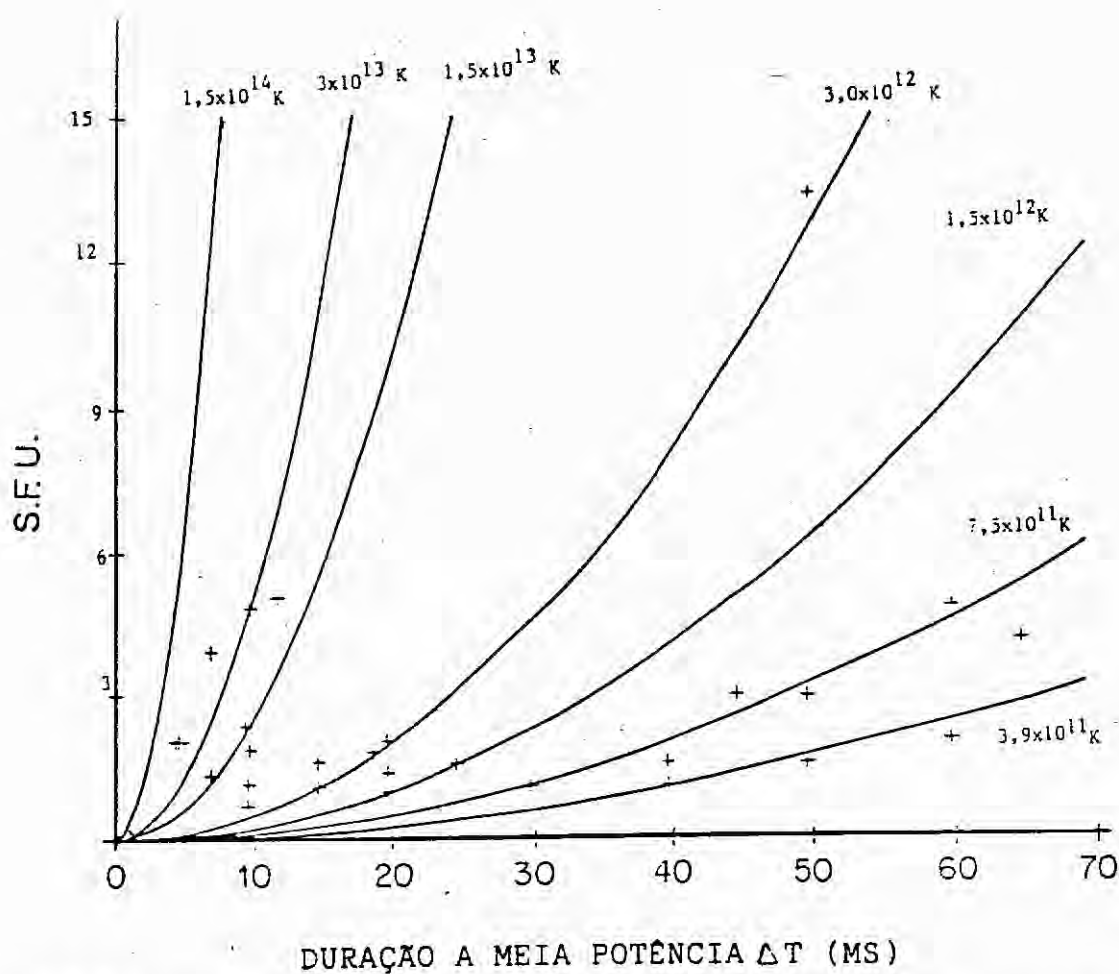


Fig.4.6 - Valores correspondentes aos fluxos dos picos nos *spikes*-ms em função da duração à meia potência, em 1663 MHz. As curvas de temperatura constantes foram traçadas assumindo, para a dimensão da fonte, a duração à meia potência vezes a velocidade de Alfvén.

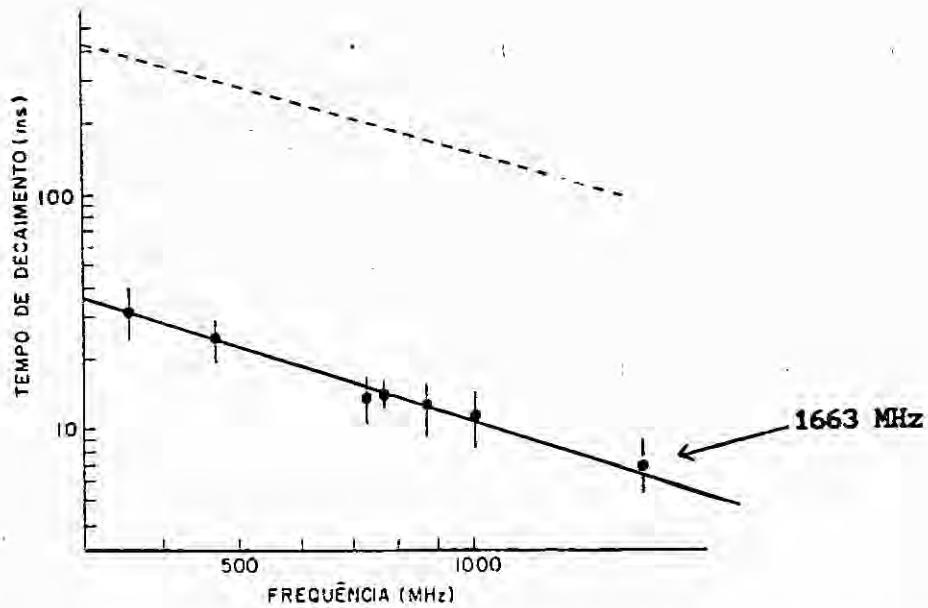


Fig 4.7 - Tempo de decaimento do *spike* (t_0) em μs , em função da frequência de observação (Güdel e Benz, 1990). O valor de t_0 para 1663 MHz está indicado por uma seta. A linha pontilhada indica a lei empírica válida para as explosões tipo III obtida por Alvarez e Haddock, 1973.
Fonte: Gudel e Benz, (1990), p. 83.

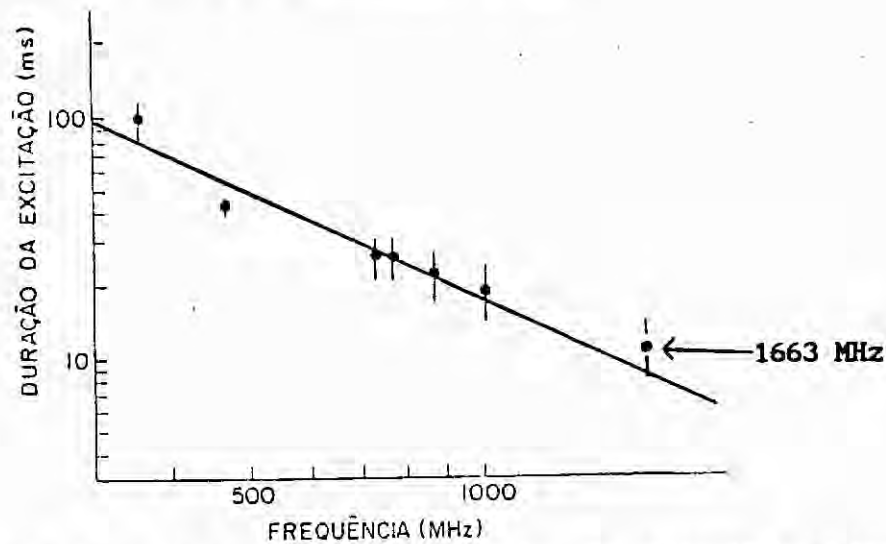


Fig. 4.8 - Valores da duração de excitação do *spike* (D_0) em função da frequência de observação. O valor de D_0 para nossa frequência (1663 MHz) está indicado por uma seta.

Por outro lado, pode-se assumir que a amplificação da radiação é ocasionada pelos elétrons relativísticos acelerados no topo do arco magnético, sendo que alguns deles se perdem nos pés deste por colisão para formar o cone de perda enquanto que outros são refletidos e retornam, dirigindo uma instabilidade *maser* (Melrose e Dulk, 1982). A ação *maser* é acelerada no fundamental da girofrequência e nenhum dos modos de onda pode, em geral, escapar através da fatia de absorção giromagnética do segundo harmônico. A amplificação do segundo harmônico é suficientemente rápida de modo que, sob condições favoráveis, essa radiação pode escapar e produzir altas temperaturas de brilhância ($> 10^{15}$ K). Nesse caso, a instabilidade elétron-cíclotron-*maser* satura mais rapidamente (com velocidade da luz) que o tempo de duração do *spike* em milissegundos.

A dimensão da fonte no limite superior, passa a ser nesse caso, dada por

$$L' = c \times t_R \quad , \quad (4.10)$$

onde:

L' - dimensão da fonte considerando-se como agente excitador os elétrons relativísticos (m);

t_R - *rise-time* do evento (3 a 45 ms), dada em s.

Nós substituímos os valores de *rise-time* dos *spikes* em 1663 MHz, e encontramos, para a dimensão da fonte quando se considera como agente excitador os elétrons relativísticos, os valores

$$900 \text{ km} < L'_{(830\text{MHz})} < 13.500 \text{ km} \quad .$$

A temperatura de brilhância para esse caso, (Equação 4.6), alcança o valor máximo de

$$T_B = 4,2 \times 10^{10} \text{ K} .$$

Os valores relativamente pequenos determinados para a temperatura de brilhância podem ser consequência dos baixos valores nas intensidades de fluxo observados (de 1,2 a 13,5 u.f.s.) como também devido a uma superestimativa nos valores das dimensões das fontes. Nesse caso, o diâmetro da fonte e o *rise-time* observado devem ser independentes um do outro, o que pode ser verídico se o *rise-time* é determinado pela dinâmica da distribuição de elétrons (Stähli e Magun, 1986).

4.4.2 - ANÁLISE DOS SPIKES EM 408 MHz.

Nós calculamos a densidade de elétrons dos *spikes* observados em 408 MHz a partir da Equação 4.7, considerando o segundo harmônico. Ela vale

$$N_e (204 \text{ MHz}) = 5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} .$$

A altura da região de emissão dos *spikes* na coroa solar, pelo modelo de Saito₁₀ é proporcional à densidade de elétrons e vale

$$h (204 \text{ MHz}) = 1,25 R_{\odot} .$$

Tendo o valor da altura, o campo magnético é obtido de Rosenberg e fica compreendido entre os valores

$$1,3 \text{ G} < B (204 \text{ MHz}) < 12 \text{ G} .$$

Com o auxílio da Equação 4.9 e, usando o limite superior do valor do campo magnético, nós estimamos uma velocidade de Alfvén, para os *spikes* em 408 MHz, dada por

$$v_A (204 \text{ MHz}) \approx 800 \text{ km/s} .$$

O valor de v_A normalmente aceito é inferido das observações em rádio para eventos tipo II e vale $\approx 1.000 \text{ km/s}$. Nós substituímos este valor em (4.9) e usamos os valores de tempo total para a duração dos eventos à meia potência entre 30 e 75 ms, com o intuito de obter uma estimativa para a dimensão da fonte dos *spikes* de 408 MHz. Assim, obtivemos

$$30 \text{ km} < L(204 \text{ MHz}) < 75 \text{ km} .$$

Como nós estamos considerando que o excitador se desloca com velocidade de Alfvén, a temperatura de brilhância dos *spikes* de 408 MHz, (Equação 4.6) resulta em

$$1,0 \times 10^{15} \text{ K} < T_B (204 \text{ MHz}) < 2,8 \times 10^{16} \text{ K} .$$

A Figura 4.9 mostra os valores dos fluxos dos picos nos *spikes* de milisegundos em 408 MHz, em função da duração total dos eventos à meia potência. Aparecem também as curvas da intensidade de fluxo em função da duração total do evento, para valores fixos de temperatura de brilhância. O corte observado ao redor do tempo de 40 ms é devido a limitações nas medidas de leitura que apresentam um desvio de $\pm 36 \text{ ms}$.

Para o limite superior, no caso de elétrons relativísticos, a dimensão da fonte L' , dada pela Equação 4.10 fica entre 3.000 e 11.000 km para o *rise-time* dos *spikes* de 408 MHz entre 20 e 37 ms. A temperatura de brilhância neste caso, alcança o valor máximo de $5,1 \times 10^{11} \text{ K}$.

4.5 - CONCLUSÕES

As observações decimétricas dos *spikes* de baixo nível, sugerem que:

1) Os *spikes* de milisegundos de baixa intensidade estão vinculados ao tamanho da fonte. Os tamanhos das fontes dos *spikes* de milisegundos devem ser menores do que 50 km, assumindo-se que a instabilidade seja MHD e o processo de emissão para a geração do *spikes* for o mecanismo *electron-cyclotron-maser*. Essa consideração vale tanto para a frequência de 1663 MHz quanto para 408 MHz.

2) O tamanho da fonte independe da intensidade do *spike*.

3) A dimensão da fonte de *spikes* é independente da frequência.

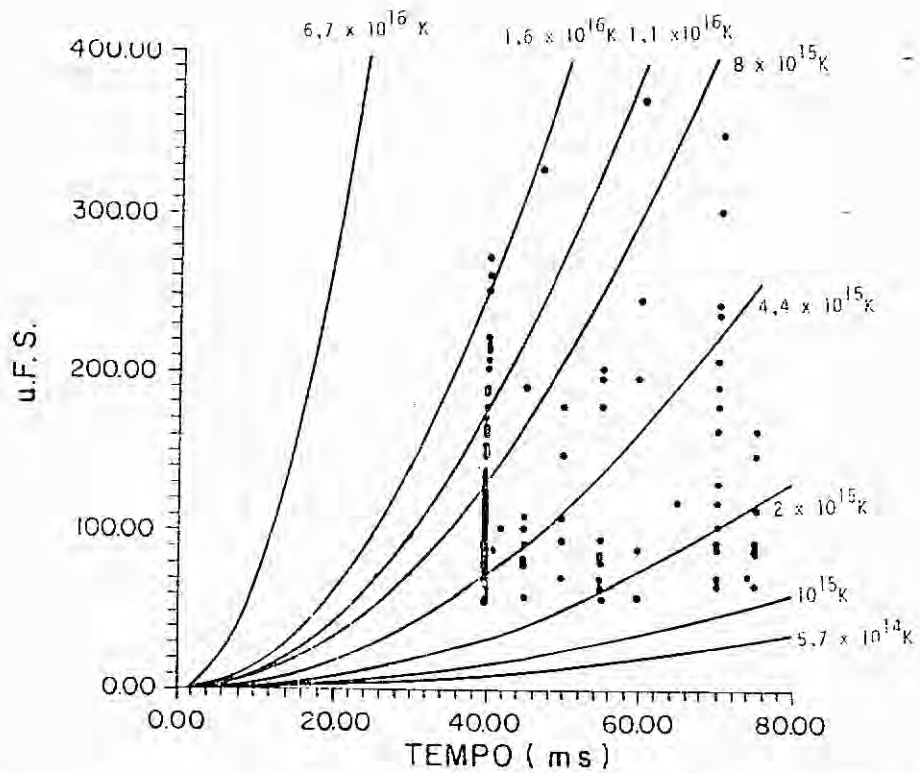


Fig. 4.9 - Intensidade de fluxo versus duração dos *spikes* de 408 MHz. As curvas de temperatura foram traçadas usando-se para dimensão da fonte, o valor da duração total à meia potência vezes a velocidade de Alfvén. (Equação 4.6).

CAPÍTULO 5

BLIPS DE BAIXO NÍVEL

5.1 - INTRODUÇÃO

Os *blips* são explosões solares de curta duração (≈ 200 ms), de largura de banda de frequência estreita, e foram observados pela primeira vez por Benz et al. (1981) na frequência de 10,69 GHz com o telescópio de Effelsberg, de 100 m de diâmetro e alta resolução temporal. Em raios-X moles, foram observadas estruturas simultaneamente aos *blips*, pelo satélite GOES 2. Ao mesmo tempo, foram realizadas observações em ondas métricas (169 MHz) com o Heliógrafo de Nançay, e o espectrômetro ETH de Zurich operando na frequência de 600 a 1.000 MHz. As propriedades das emissões em rádio, em 10,69 GHz são as seguintes:

- 1) as explosões ocorrem principalmente na fase de subida da emissão de raios-X moles ;
- 2) a correlação entre a radiação em microondas e decimétricas é excelente, e
- 3) a amplitude da explosão em microondas é da ordem de 2 u.f.s., muito menor do que as explosões comumente observadas.

Na faixa de frequência de 100 a 1000 MHz, Benz et al., (1983) observaram eventos tipo *blip* sistematicamente em rádio, com o rádio espectrômetro IKARUS de Zurich descrito por Perrrenoud (1982) no Observatório de Blein. Para isso, eles utilizaram um disco de 7 m de diâmetro que operava no intervalo de frequência de 100 a 1000 MHz. A resolução temporal foi de 100 ms enquanto que a resolução em frequência foi de 3 MHz. Em maio de 1980, foram realizadas algumas

horas de observação com 25 ms de resolução temporal, no intervalo de frequência de 880 - 1020 MHz (Benz et al., 1983). Eles fizeram uma análise detalhada entre os eventos em rádio e em raios-X e notaram que os *blips* possuem tendência de ocorrer durante a parte de subida do evento em raios-X. As observações em raios-X foram feitas à bordo do satélite Solar Maximum Mission (SMM) da NASA - USA (Orwig et al., 1980), com 15 canais de dados espectrais num intervalo de energia de 30 a 531 Kev em 1981, e resolução temporal de até 10 ms.

Um evento é classificado como *blip*, se seguir os seguintes critérios :

- 1) deve ser detectado na frequência inicial > 500 MHz;
- 2) a largura de banda típica das estruturas deve ser muito menor que 100 MHz e sua duração total < 200 ms, e
- 3) o evento não pode coincidir com explosões tipo III em frequências métricas.

O *blips* diferem das explosões tipo III principalmente:

- 1) na largura de banda de tipo III, que é maior do que 100 MHz;
- 2) no número máximo de eventos tipo *blip*, na frequência inicial de 600 MHz. O número de explosões tipo III que começa numa dada frequência cresce rapidamente com a frequência decrescente;
- 3) no alto grau de associação com raios-X duros, e
- 4) por ocorrer em grupos maiores que os de explosões tipo III. Normalmente tipo III ocorre em grupos de dez. No caso dos *blips*, a taxa

de deriva 'drift-rate' é positiva e no caso dos tipo III é negativa (Benz et al., 1983).

Um exemplo de explosão tipo *blip* é mostrado na Figura 5.1.

Os trabalhos sobre os *blips* são escassos. Não existem observações desses eventos em frequências acima de 1.000 MHz. Observamos as explosões tipo *blip* pela primeira vez na frequência de 1663 MHz, de baixa intensidade, bem isolados e, no mínimo, duas ordens de grandeza menor do que as já reportados anteriormente.

O estudo detalhado das características temporais e de polarização, sugerem que os *blips* são gerados no segundo harmônico pela interação de um feixe de elétrons com o plasma coronal.

5.2 - MECANISMO DE EMISSÃO DOS BLIPS

A emissão em ondas decimétricas e métricas é originada pelo mecanismo de emissão plasma no segundo harmônico. Às vezes, a emissão fundamental é altamente absorvida em altas frequências (Furst et al., 1982). Um processo mais provável de emissão dos *blips*, é a emissão harmônica de uma turbulência de Langmuir causada por um feixe de elétrons. A emissividade volumétrica (η) desse processo foi calculada por Papadopolous e Freund (1979) e é dada por

$$\eta = 0,21 \left(v_f/c \right)^4 c^3 W / (f_p^2 V_s) \text{ erg/s cm}^3, \quad (5.1)$$

onde:

W - máxima densidade de energia das ondas de Langmuir nos sólitons (erg/cm^3);

v_e - velocidade térmica de elétrons (cm/s);

f_p - frequência de plasma (Hz), e

V_s - volume dos sólitons (cm^3).

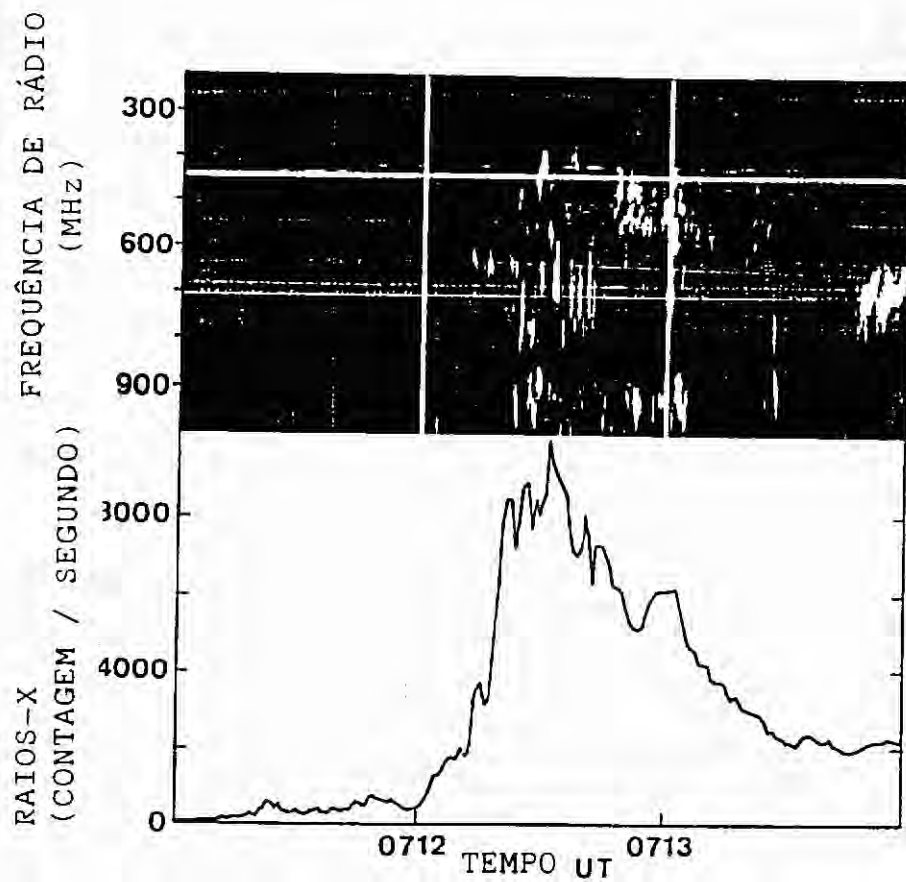


Fig. 5.1 - Exemplo de uma explosão tipo Blip. Em a) aparece o espectro dinâmico, associado com b) raios-X obtido pelo HXRB (>30 keV), SMM.

Fonte: Benz et al. (1983), p. 92.

Segundo Goldstein et al. (1979), V_S pode ser aproximado por

$$V_S \approx 27 v_e^4 / v_f \gamma^2 f_p \quad (5.2)$$

onde: γ - razão do crescimento linear da densidade de energia das ondas de Langmuir, e

v_f - velocidade do feixe de partículas (cm/s).

A fim de determinar o número de elétrons que escapa da região fonte de microondas devemos estimar o valor da densidade de energia W . Seguindo os argumentos de Smith et al. (1979), nós assumimos que:

- 1- a interação do feixe de plasma é unidimensional, e
- 2- o sistema (coroa) é homogêneo.

Smith et al. (1979) deduziram uma equação de quarta ordem entre W e γ_{OTSI} . Ela foi aproximada por Furst et al (1982) para

$$W \approx 6,49 \times 10^4 (\gamma_{\text{OTSI}} / W_e)^2 N_e k T, \quad (5.3)$$

onde:

- γ_{OTSI} - razão de crescimento não linear da densidade de energia;
- W_e - densidade de energia das ondas de Langmuir nos elétrons (erg/cm³);
- N_e - densidade de elétrons (cm⁻³), e
- T - temperatura da coroa (K).

A razão de crescimento linear da densidade de energia é contrabalançada pela razão de crescimento não-linear, e γ_L vale

$$\gamma_L = n_f / N_e (v_f / \Delta v_f)^2 f_p, \quad (5.4)$$

onde :

- n_f - densidade do feixe de partículas (cm^{-3});
- Δv_f - o espalhamento do feixe em velocidade (cm/s), e
- f_p - frequência de plasma (Hz).

O fluxo de rádio S, observado à distância R, é dado por

$$S = N_e V_{dm} \delta / (2 R^2 \Delta \omega) , \quad (5.5)$$

onde:

- V_{dm} - volume da fonte de emissão em ondas decimétricas (cm^3);
- δ - absorção da radiação decimétrica, e
- $\Delta \omega$ - espalhamento em frequência (Hz).

À uma distância de $R = 1$ UA, podemos escrever que a intensidade de fluxo S (em u.f.s.) vale

$$S = 1,16 \times 10^{-5} (v_f/c) (f_p/\Delta \omega) (n_f/N_e)^4 (v_f/\Delta v_f)^8 V_{dm} N_e k T \delta , \quad (5.6)$$

onde:

- Δv_f - velocidade de espalhamento do feixe (cm/s);
- $\Delta \omega$ - espalhamento em frequência (Hz);
- n_f - densidade do feixe de partículas (cm^{-3}), e
- V_{dm} - volume da fonte de radiação decimétrica (cm^3).

Os maiores *blips* decimétricos com *drift-rate* negativos são análogos às explosões decimétricas tipo III e a explicação para o motivo pelo qual os elétrons que escapam não evoluem para um feixe que vai emitir explosões tipo III, é a seguinte: os elétrons que dão origem à radiação tipo *blip* encontram primeiro uma frequência de plasma decrescente, e depois crescente, pois o *loop* é fechado. Isso origina a explosão tipo "U" no plano tempo-frequência. Como os *loops*

à níveis decimétricos são consideravelmente menores que aqueles localizados a 50.000 km acima da fotosfera (associados à ondas métricas tipo "U", e que geralmente conectam diferentes regiões), a diferença no tempo entre os braços ascendente e descendente não pode ser resolvida (Furst et al., 1982).

5.3 - OBSERVAÇÕES - BLIPS EM ONDAS DECIMÉTRICAS

Entre os eventos em 1,6 GHz observados no dia 9 de julho de 1985, reconhecemos 9 como sendo de tipo *blip*. Alguns apresentavam uma intensidade que variava entre 1,5 e 27 u.f.s., 15 % de polarização circular à direita e duração total no tempo entre 200 e 500 ms. Na Figura 5.2, mostramos dois exemplos de eventos tipo *blip* observados em polarização circular, em 1.6 GHz. São eventos duas ordens de magnitude menos intensos que aqueles observados por Benz et al., (1983).

Os fatos observacionais que sugerem que os eventos de curta duração (tempo total médio de \approx 350 ms) do dia 9 de julho de 1985 sejam do tipo *blip*, são os seguintes :

1) o espectro dinâmico com alta resolução em tempo / frequência, no intervalo de frequência de 1000 a 100 MHz, foi obtido pelo grupo de Rádio Astronomia de Zurich (Benz , 1986b). As observações no dia 9 de julho de 1985, realizadas no mesmo horário das explosões em decimétricas , mostram ausência de explosões tipo III nesse intervalo de tempo. Isso significa que as explosões observadas em 1,6 GHz, são de banda estreita de frequência;

2) os estudos das características temporais do tempo de subida e decaimento dos eventos, mostram características semelhantes à dos eventos tipo III observados nessa frequência;

3) a probabilidade da ocorrência de *blips* (5%) nessa frequência (1663 MHz) é maior do que a probabilidade (desprezível, $\approx 3\%$) da ocorrência das explosões tipo III em 1000 MHz (Benz et al., 1983), e

4) o grau de polarização dos *blips* também é semelhante ao dos eventos tipo III observados nesta frequência (é relativamente fraco, de 10 a 30 % em frequências de 600 a 1000 MHz).

5.4 - ANÁLISE DE DADOS

5.4.1 - ANÁLISE TEMPORAL DOS BLIPS

Fizemos uma análise do tempo de excitação (tempo de subida), tempo de decaimento e tempo total da duração dos *blips* medidos com relação à altura máxima no ponto I/e (I é a intensidade de fluxo de pico de máximo do evento, e e é o algarismo neperiano). O tempo de decaimento define o valor do intervalo de tempo correspondente à parte plana da queda do perfil temporal do evento. Realizamos também, um levantamento dos valores do tempo de excitação (D_e) e do tempo de decaimento (t_D) das explosões tipo *blip*, considerando que o tempo de decaimento seja exponencial. Essa suposição parte do princípio que o amortecimento da radiação pode ser colisional (a energia da onda de plasma é perdida em colisões elétron-íon), ou amortecimento Landau (a energia da onda de plasma é absorvida por um feixe de partículas com velocidade próxima à velocidade do feixe). Em ambos os casos, o decaimento é exponencial sendo que em uma explosão ele é determinado pelo amortecimento da emissão depois que o agente excitador abandonou o nível correspondente (Aubier e Boischot, 1972). Nós examinamos em detalhes os dois mecanismos de amortecimento e os discutimos em termos das observações.

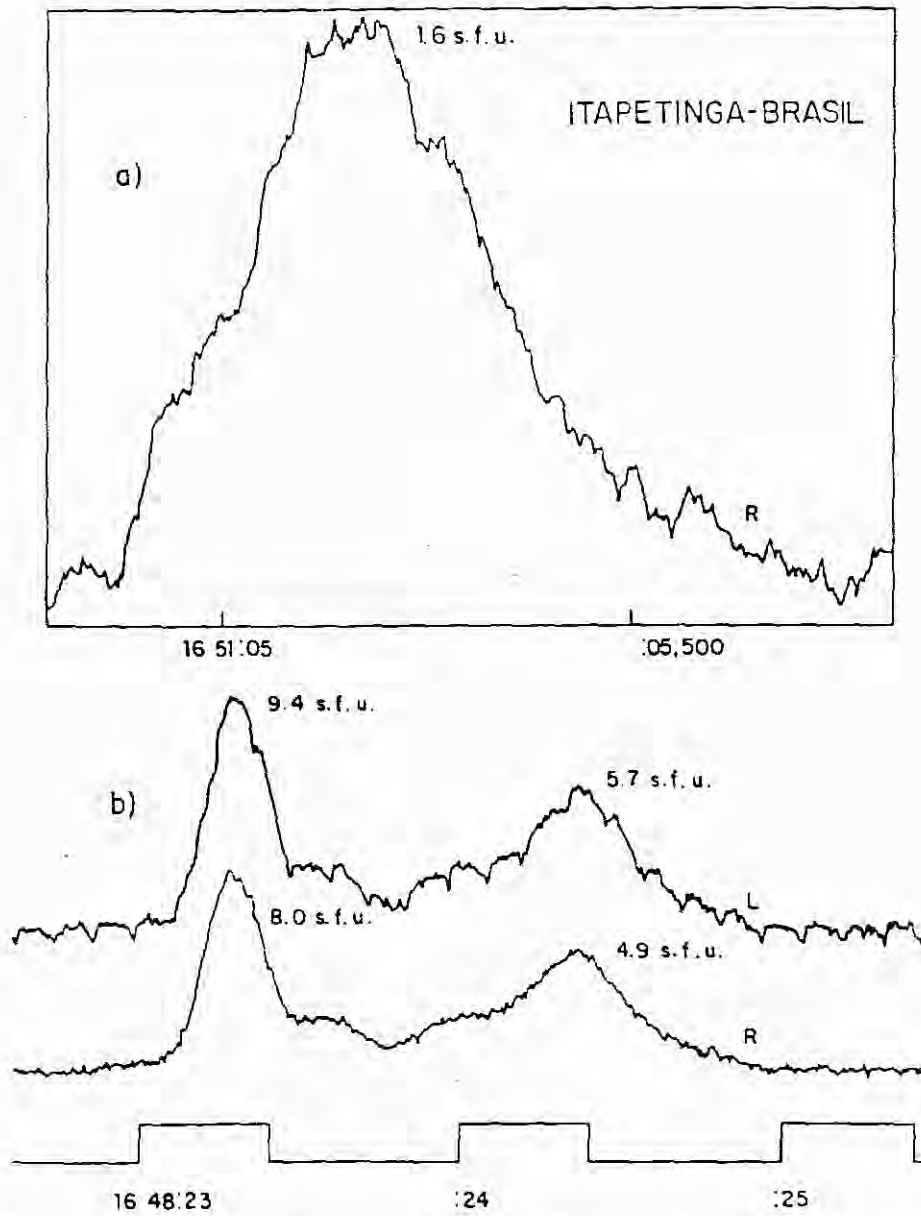


Fig. 5.2 - Exemplos de intensidade dos perfis temporais dos *Blips* observados em 1,6 GHz. a) *Blip* isolado em polarização R, e b) Grupo de *blips* em polarização R e L.

5.4.1.1 - AMORTECIMENTO COLISIONAL

Se o amortecimento da radiação for colisional, isto é, a energia da onda de plasma é perdida por colisão elétron-íon, e se assumirmos que a emissão dos *blips* se der no segundo harmônico, poderemos calcular a temperatura na coroa através da equação (Kundu, 1965) :

$$T = 0,65 \cdot 10^{-4} f^{4/3} t_D \quad , \quad (K) \quad (5.7)$$

onde: f - frequência de observação (MHz), e

t_D - tempo de amortecimento (s) .

5.4.1.2 - AMORTECIMENTO LANDAU

No caso do amortecimento da radiação ser o de Landau, podemos calcular o número de partículas energéticas que produzem uma explosão do tipo *blip*, usando as Equações 5.8 e 5.9 dadas por Subramanian et al.(1981) e considerando um agente excitador uniforme em velocidade e densidade, para o tempo de decaimento e de excitação. Assim,

$$t_D = 1/6\pi^{3/2} (v_1/v_2)^2 (v_{01}/v_1) 1/(N_e/n_1)^2 (1/\omega_p) \exp[((v_1 - v_2)/v_{01})^2] \quad (5.8)$$

e

$$D_e = [(3N/2)/4\pi n_1]^{1/3} \times [1/v_1 + 1/v_2] \quad , \quad (5.9)$$

onde:

N - número total de partículas energéticas;

(n_1, v_1) - densidade e velocidade dos elétrons mais rápidos do feixe ($v_1 \approx v_{fase}$);

(n_2, v_2) - densidade e velocidade dos elétrons mais lentos do feixe;

v_{01} - velocidade térmica de elétrons, e
 ω_p - frequência angular de plasma .

5.4.1.3 - TEMPO DE DECAIMENTO E DE SUBIDA

As medidas do tempo de subida (*rise-time*) e tempo de decaimento (*fall-time*) dos *blips* foram plotadas em um gráfico log S versus tempo para cada evento, o que foi feito com grande precisão pois nos eventos tipo *blip* , o tempo de decaimento corresponde à parte linear da curva exponencial . Na Figura 5.3 temos o gráfico log-linear de um *blip* isolado, observado às 16 51:05 UT no dia 9 de julho de 1985, cujo perfil temporal é mostrado na Figura 5.2a (Sawant et al., 1987a). A parte linear da curva corresponde ao tempo de decaimento t_D . O tempo de excitação (t_e) é medido a partir do início do evento até a parte linear da curva. Fizemos medidas de t_D e t_e em nove eventos observados tipo *blip* e obtivemos os seguintes valores médios:

$$t_D = 130 (+/- 25) \text{ ms} \quad \text{e} \quad t_e = 200 (+/- 25) \text{ ms}.$$

Alvarez e Haddock (1973) utilizaram dados do tempo de decaimento das explosões tipo III obtidos por vários autores e conseguiram um ajuste linear por mínimos quadrados no gráfico log-log dos dados de frequência (Hz) e tempo de decaimento dos eventos. Eles obtiveram a relação

$$t_D = 10^{7,71} f^{-0,95} \text{ (s)} . \quad (5.10)$$

A Figura 5.4 mostra os valores médios do tempo de decaimento versus frequência para eventos tipo III ($f < 300$ MHz) e *blips* ($f > 500$ MHz) encontrados por Benz et al. (1983). A curva desse gráfico é dada pela Equação 5.10. O valor médio no tempo de decaimento dos *blips* por nós obtidos em 1663 MHz aparece indicado por uma seta. Isto significa que o tempo de decaimento dos *blips* é aproximadamente igual

ao dos tipo III; ou seja, os eventos tipo *blip* também são similares aos eventos tipo III.

5.4.2 - NÚMERO DE PARTÍCULAS

O número de elétrons necessários para gerar um *blip* decimétrico pode ser calculado a partir da Equação 5.6 (Fürst et al., 1982). Substituindo-se na Equação 5.6 os valores dos parâmetros de plasma normalmente usados, que são: $v_f/c = 0,3$; $f_p/\Delta\omega = 4$; $v_f/\Delta v_f = 1$; $N_e = 7,9 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$, $T = 10^6 \text{ K}$; $\delta = 0,1$, e a intensidade de fluxo obtida nas observações em 1663 GHz ($S = 10 \text{ u.f.s.}$), encontramos o valor

$$n_f \approx 1,2 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

para a densidade do feixe de partículas. O número de elétrons $n_f V_{dm}$ (onde $V_{dm} = 10^{27} \text{ cm}^3$) necessários para originar um simples *blip* decimétrico que calculamos é da ordem de

$$N = 1,2 \times 10^{31} \text{ partículas.}$$

Esse mesmo número de partículas pode também ser determinado quando se assume o amortecimento Landau para a radiação, através das Equações 5.8 e 5.4 conforme veremos à seguir.

Considerando os valores dos parâmetros de plasma normais nas explosões solares ($v_2 = 0,9 v_1$, $v_1/v_{01} \approx 10$ e $v_1 = 0,3c$); substituindo-se o valor da frequência por nós utilizada (1663 MHz) no segundo harmônico; o valor de $N_e (= 7,9 \times 10^9 \text{ cm}^{-3})$, e os valores do tempo de decaimento e de excitação nas Equações 5.8 e 5.9, obtivemos a densidade de partículas energéticas responsáveis pelas explosões decimétricas tipo III, que é $\approx 3,3 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$; ou seja, $n_1/n_0 = 10^{-4}$. Nesse caso, o número total de partículas no feixe resulta

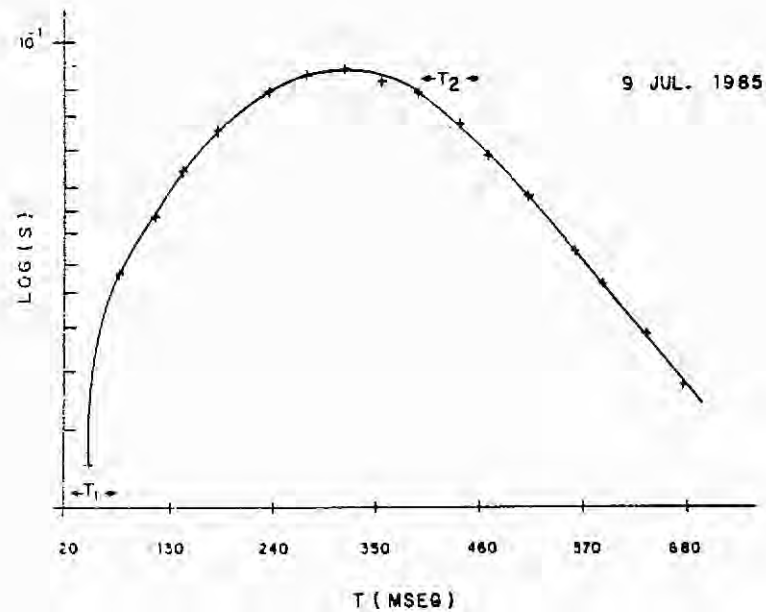


Fig. 5.3 - Gráfico log-linear do *blip* isolado que aparece na Figura 5.2a. As barras de erros em T_1 e T_2 são as incertezas nas medidas de tempo de excitação (T_{exc}) e decaimento (T_D).

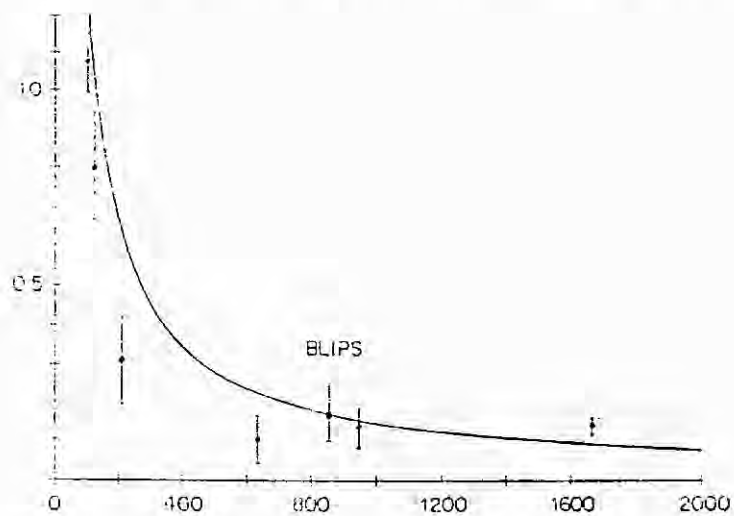


Fig. 5.4 - Tempo de decaimento das explosões tipo III (< 500 MHz) em comparação com *blips* (> 500 MHz). A seta indica o tempo de decaimento em 1663 MHz.

Fonte: Alvarez e Haddock (1973). p. 102.

$$N = 10^{32} \text{ partículas,}$$

valor este que coincide com aquele calculado pela Equação 5.6, onde consideramos o mecanismo de emissão plasma no segundo harmônico como sendo o mecanismo gerador dos eventos tipo *blip*, similar à radiação tipo III decimétrica.

5.4.3 - TEMPERATURA DA COROA

A temperatura da coroa, pode ser calculada com auxílio da Equação 5.7. Quando substituímos o valor de $t_D = 130$ ms e assumimos a emissão no segundo harmônico ($f = 830$ MHz), ela vale :

$$T = 1,66 \times 10^7 \text{ K,}$$

uma ordem de grandeza maior que o valor esperado ($\approx 10^6$ K). Esse resultado leva à conclusão de que o tempo de decaimento foi maior do que o esperado. Os grandes tempos de decaimento observados são convencionalmente atribuídos à geração da radiação por feixes de partículas lentos durante a fase principal de decaimento. Isso efetivamente faz crescer o tempo de decaimento.

5.5 - BLIPS EM DECIMÉTRICAS E RAIOS-X

Existe uma boa correlação (48 %) entre explosões em ondas decimétricas (1000 - 300 MHz) e raios-X (Aschwanden et al., 1985; Kane, 1981).

Na fase impulsiva do *flare* solar as principais características das explosões em raios-X duros são (Kane e Anderson, 1970):

- 1- duração total ≤ 15 s;
- 2- subida muito rápida (0,1 - 5 s) , e
- 3- descida rápida (0,2 - 10 s) .

5.5.1 - MECANISMO DE EMISSÃO DOS RAIOS-X

O mecanismo de geração das explosões em raios-X, é o *bremsstrahlung* e, no caso de raios-X duros não-térmicos, pode ser usado o modelo *thin-target* ou o modelo *thick-target*.

O modelo *thin-target* é utilizado no caso de baixas densidades, sendo que o feixe de elétrons passa através da região alvo perdendo uma parcela dessa energia durante o processo. A emissão *bremsstrahlung* é pouco eficiente e diretamente proporcional à densidade do alvo de incidência.

No modelo *thick-target*, o feixe de elétrons colide com uma coluna de alta densidade perdendo quase toda sua energia por colisões coulombianas com os elétrons da região. Somente uma pequena fração de sua energia inicial é convertida em radiação (10^{-5}). Mesmo assim, nesse modelo a energia convertida em radiação é muito maior do que no caso do modelo *thin-target*.

5.5.2 - OBSERVAÇÕES

Os dados em raios-X foram obtidos na NASA (USA) pelo grupo de Física Solar .

Nossas observações mostraram algumas explosões tipo *blip* em ondas decimétricas, associadas com raios-X duros. Os eventos

em raios-X duros usados para os estudos de correlação foram selecionados com os seguintes critérios :

1) devem ter duração total > 1 s , pois a resolução temporal dos raios-X duros é 128 ms , o que fornece, no mínimo 8 pontos de correlação, e

2) devem ter intensidade $> 3 \sigma$, onde σ é o nível de fundo da radiação de raios-X.

As observações em raios-X duros (> 20 keV) realizadas no dia 9 de julho de 1985 entre 15 41 e 15 52 UT, revelaram um total de 48 explosões enquanto que, em 1,6 GHz, observamos 36 explosões para o mesmo período, desde tipo III-dm , tipo III-RS, que foram estudadas conjuntamente com raios-X (Lattari, 1989; Sawant et al., 1990) e *blips*, sendo que somente dois deles foram observados junto com raios-X.

Dennis et al (1984) fizeram uma comparação detalhada entre explosões em raios-X duros e tipo III decimétricas. Os dados em rádio foram obtidos no intervalo de frequência de 100 a 1000 MHz, com o equipamento analógico e digital de Zurich (Switzerland), com resolução temporal de ≈ 100 ms. Os dados em raios-X (energia > 30 keV) foram obtidos com o espectrômetro de raios-X duros à bordo de um balão na Missão Sol Máximo, em Frascati (Itália). Eles apresentaram um caso onde a curva normal da explosão em rádio (em ≈ 600 MHz) ocorre em coincidência com o pico de um evento de raios-X, dentro de ≈ 100 ms.

A explosão de 16 48:50 U.T. - Explosão tipo *blip* associada com raios-X aparece mostrada na Figura 5.5. Ela durou quase 4 segundos e apresentou um pico de raio-X adiantado por uma diferença de ≈ 350 (+/- 150)ms. A correlação cruzada , com resolução temporal de 128 ms da Figura 5.6 confirma esse atraso. O pico de raios-X está atrasado de 128 ms, onde o índice de correlação é 0,7.

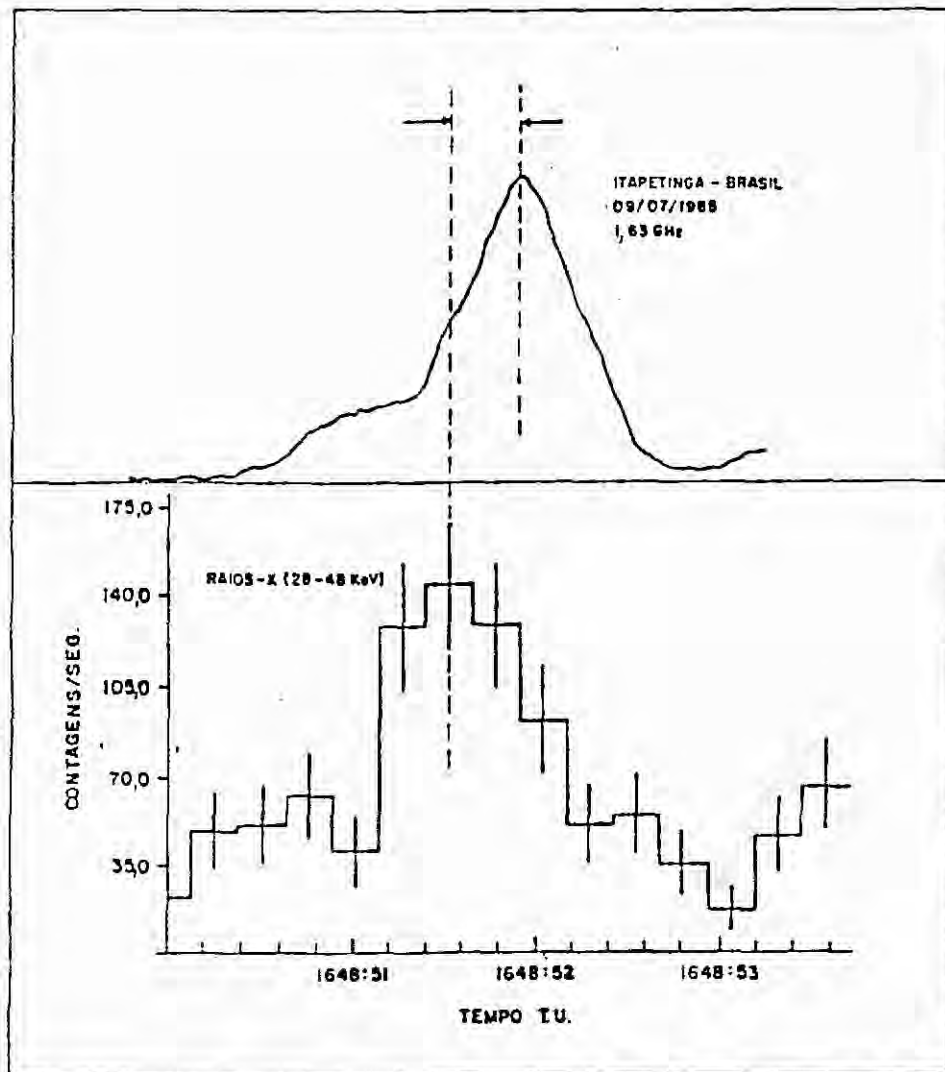


Fig. 5.5 - Perfil temporal da explosão a) do tipo *blip* (1663 MHz) juntamente com b) explosões de raios-X duros ($E > 20$ keV). Os picos de raios-X estão adiantados de $\approx 350(+/- 150)$ ms em relação aos *blips*.

Fonte: Dennis et al. (1984), p. 107.

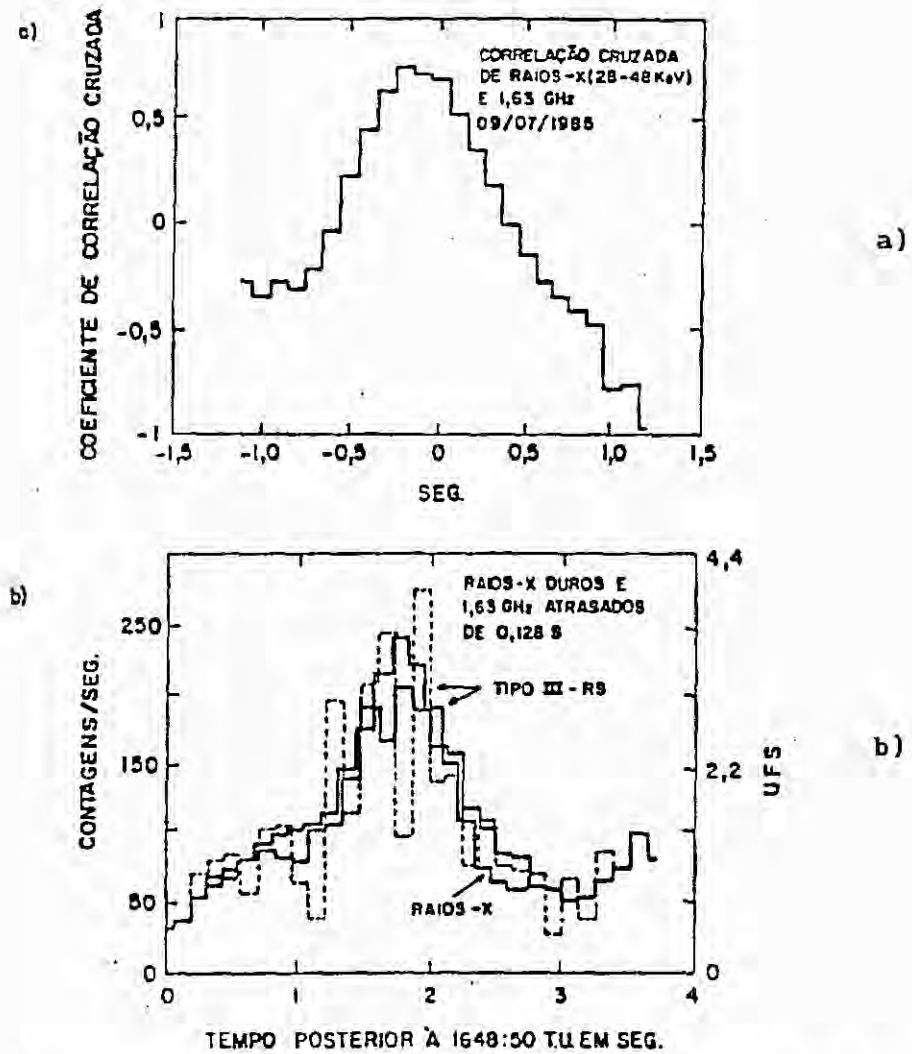


Fig. 5.6 - a) Correlação cruzada entre os picos de raios-X ($E > 20$ keV) e explosões tipo *blip* (1663 MHz). O coeficiente de correlação máximo é $\approx 0,7$ e o atraso médio é de ≈ 128 ms. b) Linha pontilhada: pico do evento tipo *blip* configurado na resolução temporal dos raios-X (128 ms). O contorno cheio é uma média de três pontos do pico do *blip*. c) Linha cheia: pico de raios-X duros.

Fonte: Dennis et al. (1984), p. 107.

A Figura 5.7 fornece o resultado da análise espectral de raios-X duros (> 20 keV) para a explosão no intervalo 16 48:50-16 48:53 UT. Ela fornece os valores da constante espectral e do índice espectral pelo modelo *thick-target* ($A= 2$ e $A= 4$, respectivamente). A variação dos índices espectrais com o tempo está representada na Figura 5.8, dentro do mesmo intervalo de tempo.

A Figura 5.9 mostra outra explosão de *blip* com raios-X, às 16 46:47 UT. Esse exemplo não foi utilizado para estudos de correlação porque estava muito próximo do ruído. O pico de raios-X é muito menor do que 3σ .

5.5.3 - INTERPRETAÇÃO

O atraso de ondas decimétricas em relação aos raios-X e sua explicação foi alvo de alguns trabalhos (Dennis et al., 1984; Benz et al., 1983 e Kane et al., 1982).

Pelo modelo convencional de elétrons, o atraso esperado de ondas decimétricas em relação aos raios-X é da ordem de ≈ 1000 ms. Ele difere do nosso valor por um fator >5 . Nossa estimativa é próxima daquela determinada por Dennis et al. (1984) muito embora os eventos por eles pesquisados fossem do tipo III-decimétrico.

Crannell et al. (1988), fizeram um artigo de revisão onde está claro que existe uma correlação em tempo e em intensidade entre as explosões em raios-X e milimétricas. Nesse caso, o estudo de ondas métricas e raios-X pode ser feito por comparação com o estudo de ondas métricas e milimétricas.

Podemos então dizer que o mecanismo de geração de *blips* e raios-X é semelhante ao mecanismo de geração das estruturas finas e ondas milimétricas, onde as estruturas finas em ondas métricas correspondem aos *blips*-decimétricos e as ondas milimétricas

correspondem aos raios-X. Esse mecanismo foi discutido detalhadamente no capítulo 2 (Figura 2.16).

5.6 - CONCLUSÕES

- 1) Os eventos tipo *blip* foram observados pela primeira vez e frequência superior a 1000 MHz. A investigação detalhada do perfil temporal dos *blips* de baixa intensidade sugere que os *blips* são gerados pela interação do feixe de elétrons com o plasma no segundo harmônico, e esse feixe dura por um período muito curto.
- 2) O número de elétrons necessários para a geração dessas explosões é de $\approx 10^{32}$ elétrons.
- 3) Os *blips* em 1663 MHz originam-se na baixa coroa, perto de região de aceleração em local de altas densidades (10^9 - 10^{10} cm^{-3}).
- 4) A comparação temporal da coincidência dos picos em *blips* raios-X sugere que os *blips* são gerados por elétrons acelerados, no segundo harmônico.

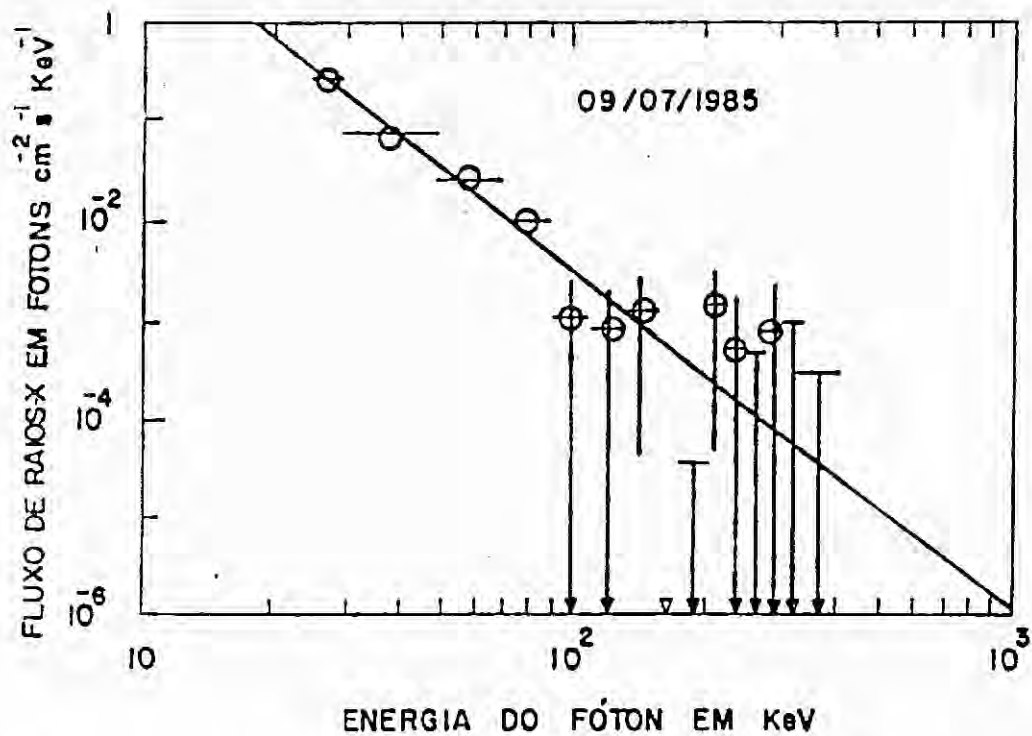


Fig. 5.7 - Resultado da análise espectral de raios-X duros ($E > 20 \text{keV}$) para a explosão no intervalo entre 16 48:50 e 16 48:53 UT. - As linhas verticais representam as barras de erro deduzida da observação do número de contagens. As linhas horizontais indicam a banda de energia do detector. Fonte: Dennis et al. (1984), p. 107.

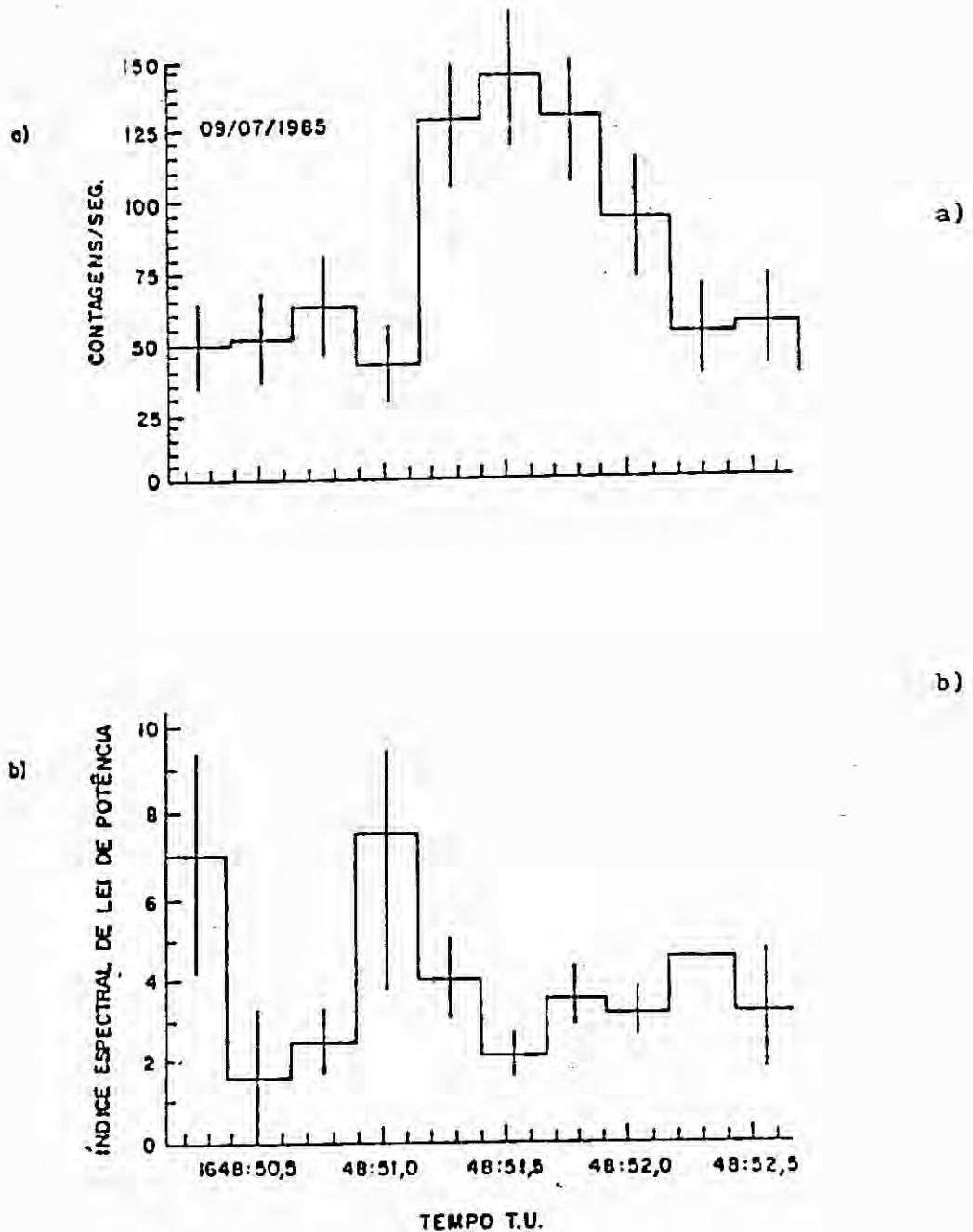


Fig. 5.8 - a) Explosão de raios-X duros.

b) Índice espectral versus tempo contado a partir da explosão de raios-X mostrada acima. As barras de erro valem 1 e foram baseadas no número de contagens de raios-X observados em cada intervalo.

Fonte :Dennis et al. (1984), p. 107.

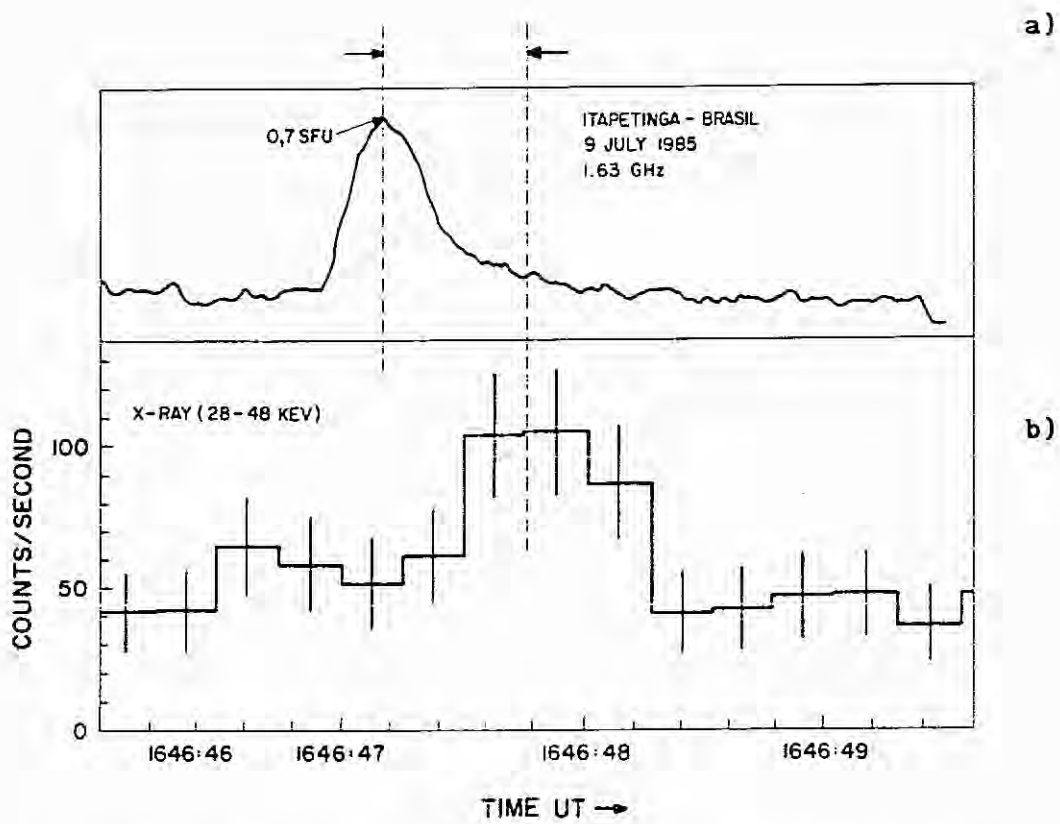


Fig. 5.9 - Explosão tipo *blip* (1663 MHz) juntamente com explosão em raios-X duros ($E > 20$ keV).

Fonte: Dennis et al. (1984), p. 107.

CAPÍTULO 6

EXPLOSÕES TIPO HOMÓLOGOS E HOMÓLOGOS-LIKE

6.1 - INTRODUÇÃO

Waldemeier (1938) foi o responsável pela notícia mais remota sobre os *flares* que possuem a tendência de ocorrer de forma aproximadamente idêntica quando vistos em fotos H- α . O termo **Flare Homólogo** foi dado por Ellison et al. (1960) aos eventos que aparecem duas ou várias vezes no mesmo local e com a mesma forma. Fokker (1967) estendeu essa denominação às observações em rádio, conceituando de **Flare Homólogo em Rádio** as explosões de *flares* consecutivos com intensidades similares nos perfis temporais. As explosões **homólogas em rádio** possuem perfis temporais semelhantes, repetem-se de tempos em tempos em escalas de segundos, minutos ou horas e são observadas em todos os tipos de emissão.

Ao observar com a antena de 14 m de diâmetro da estação de Pesquisas em Rádio de Metsähovi (Finlândia), no comprimento de onda de 8 mm, Urpo (1983) estudou dois *flares* homólogos sendo que o intervalo de tempo entre o primeiro e o segundo evento foi de ≈ 1 h e o primeiro evento foi três vezes mais intenso que o segundo. A máxima densidade de fluxo alcançou 3,3 u.f.s. Essas explosões eram semelhantes mesmo nos pequenos detalhes, sendo que cada uma delas era composta de vários *spikes* elementares que se repetiam com periodicidade de aproximadamente 3 (+/- 0,26)s (Figura 6.1). Esse perfil temporal além do espectro de frequências levou a crer que a origem dessas explosões homólogas em microondas estava numa estrutura magnética com vários *loops* e que a energia liberada durante as duas explosões era produzida pela mesma estrutura complexa do *loop*. Ele observou também que o tempo de decaimento era longo ($\gg t_R$) indicando que uma grande parte da energia liberada durante as explosões foi utilizada para

termalização da região ativa. Urpo interpretou esses spikes elementares como sendo uma contribuição de diferentes *loops* magnéticos, sendo que a mesma estrutura complexa de *loop* estaria presente imediatamente antes de ambas as explosões em microondas. Ele ainda propôs que um novo fluxo magnético emergente, acionaria a energia liberada em algum lugar próximo à linha magnética neutra e a explosão em microondas avançaria de um *loop* a outro produzindo as duas explosões homólogas observadas.

Nakajima et al. (1985) utilizaram o interferômetro de Nobeyama e observaram, em 17 GHz, 5 exemplos de eventos que apresentavam "explosões secundárias em microondas". Elas possuíam perfis temporais semelhantes às explosões primárias (*flares* homólogos) e se repetiam com um atraso de 2 a 25 s. As intensidades das explosões secundárias eram sempre de 3 a 25 vezes menos intensa do que a explosão primária (Figura 6.2).

Slonin e Kuleshova (1983) analisaram as características do *flare* solar (em H- α) de 13 e 16 de maio de 1981 e mostraram que eles duplicavam em potência, localização e forma, mas diferiam duas vezes em duração. Nós definimos este tipo de explosão como Homólogos-Like. Encontraram em raios-X explosões relacionadas com esses *flares* que, por sua natureza, indicavam que os dois *flares* se desenvolveram na coroa e de modo idêntico. Uma diferença na duração de sua emissão apareceu apenas no nível cromosférico da região. Um dos dois nós principais dos *flares* estava localizado acima de um pequeno polo isolado N, no interior um campo magnético de polarização S.

Martres (1989) fez um resumo detalhado da homologia do *flare* dando enfoque especial aos homólogos que ocorrem em sucessão rápida e em intervalos de poucos minutos entre cada um deles. Ela os denominou de "rafales". Essas explosões poderiam indicar que a energia seria liberada de forma periódica dentro da mesma configuração magnética. Ela discutiu a existência de lugares particulares na

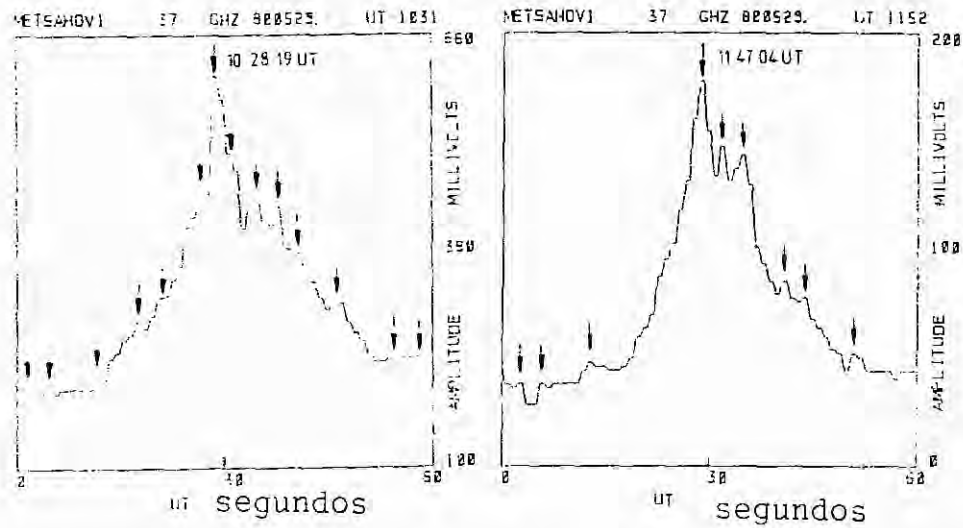


Fig. 6.1 - Explosão solar em microondas (8mm) das 10:28 UT e das 11:40 UT ocorrido em 29 de maio de 1981 na Região Hale-16864. Ambas são compostas de vários *spikes* elementares com periodicidade de $\approx 3s$.

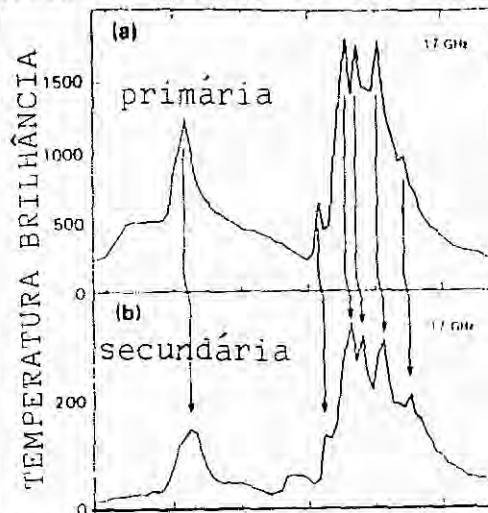


Fig. 6.2 - Variações no tempo da temperatura de brilho do pico das duas explosões solares (primária e secundária) em 17 GHz ocorrida dia 31 de julho de 1981 .

Fonte: Nakajima et al. (1985), p. 116.

atmosfera solar que possuem características peculiares em termos de rotação solar e onde os *flares* ocorreriam sucessivas vezes em diferentes rotações solares. Concluiu, com isso, que a perturbação responsável pela emergência da atividade localiza-se abaixo da fotosfera solar.

O estudo dos *flares* homólogos, é muito importante do ponto de vista que mostra que nem toda a energia magnética livre da região ativa é liberada em um único evento e que, inversamente, o armazenamento de energia ocorre dentro de escalas de tempo comparáveis ao intervalo entre um *flare* e o seguinte e, a topologia do campo magnético se mantém a mesma por vários dias, até mesmo por várias rotações solares, após esta liberação de energia (Martres, 1989). Além disso, o estudo das condições que levam a uma quebra na série de *flares* homólogos pode conter informações importantes quanto ao processo de armazenamento e liberação de energia (Machado, 1985).

Trevisan et al. (1990a) observaram *flares* homólogos de baixa intensidade em rádio e frequência de 1,6 GHz associados com *Flares* em H- α que se repetiam após alguns segundos. Observaram também pela primeira vez, as *explosões* homólogas-like em microondas, que apresentam o perfil temporal duplicado ou multiplicado de um fator, em relação à explosão original, e são variantes dos eventos tipo homólogo. As explosões homólogas-like em H- α associadas à essas, em rádio, possuíam periodicidade de 40 min.

6.2 - MECANISMO DE EMISSÃO DAS EXPLOSÕES HOMÓLOGAS

Existem muito poucas discussões sobre a origem do *flare* homólogo em microondas. Sabe-se que sua origem deve estar numa estrutura magnética com vários *loops* e que a mesma estrutura do *loop* complexo produz energia durante a explosão (Urpo, 1983).

Não há dados estatísticos sobre os *flares* homólogos para que se possa chegar à resultados que levem à conclusão sobre o mecanismo de geração desses eventos.

Nós discutimos dois modelos para explicar as repetições curtas e longas dos *flares* homólogos em microondas: o modelo de oscilação de proeminências (Zaitsev e Stepanov, 1988) e o modelo de oscilação de filamento (Baorong e Aoa, 1988), e tentamos explicar essas repetições pelo modelo sugerido para o mecanismo das oscilações de proeminências em relação à ocorrência dos *flares* em H- α .

6.2.1 - OSCILAÇÕES DE PROEMINÊNCIAS

Recentemente, Zaitsev e Stepanov(1988) sugeriram que as variações quasi-periódicas do campo magnético da região ativa podem aquecer o material da proeminência e, como consequência, o período de oscilação da mesma encurta gradualmente. O período de oscilação deveria então ser determinado pela razão do tamanho característico da proeminência e a velocidade de Alfvén, ou pela raiz quadrada da razão do tamanho da proeminência para a aceleração da gravidade. Eles mostraram períodos de oscilação de 40 a 50 minutos, o que é suficiente para acionar o *flare*.

Supondo que uma proeminência homogênea seja suportada pelo campo magnético de um *loop* coronal (Figura 6.3) e considerando que ela sofra oscilações na vertical, a equação que descreve o movimento de plasma sujeito a um campo gravitacional e a um campo magnético não uniforme, é dada por

$$\rho \, dv/dt = 1/4\pi \, \text{rot } B \times B - \nabla p + \rho g + (k\rho(T_e + T_i)/(m_i R^2)) R \quad (6.1)$$

onde:

ρ - densidade de plasma;

p - pressão cinética do gás;

R - vetor raio médio da curvatura das linhas de campo;

$T_{e,i}$ - temperaturas de elétron e de íon;

m_i - massa de um íon;

g - aceleração de queda livre, e

B - vetor campo magnético.

O último termo da equação 6.1 expressa a influência sobre a partícula da força centrífuga e da força associada com a não uniformidade do campo magnético.

Para o estudo da oscilação vertical da proeminência, devemos desprezar o gradiente de pressão na equação 6.1: a espessura $d \approx R$ da proeminência será ordinariamente muito menor do que sua extensão vertical l_x , de modo que

$$\nabla_x p \approx 2\rho x T / m_i l_x \ll 2\rho k T / m_i R \quad (6.2)$$

O estado de equilíbrio da proeminência da Figura 6.3 será descrito por

$$\rho g_{eff} d = B^2 / 2\pi \cos \theta \quad (6.3)$$

onde:

θ - ângulo entre a direção vertical e o vetor campo magnético, e

$$g_{eff} = g + 2kT / m_i R .$$

O plasma é considerado isotérmico ($T_e = T_i = T$).

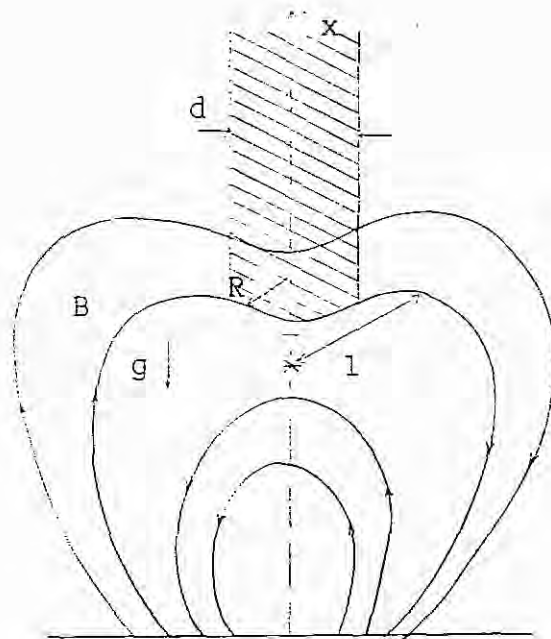


Fig. 6.3 - Modelo Esquemático de uma proeminência suportada por um campo magnético coronal. O asterisco marca a região de interação do campo magnético.

Fonte: Zaisev e Stepanov (1988), p. 119.

O período τ de oscilação da proeminência será então

$$\tau \approx 2\pi/3^{1/4} (g/l + 2kT/m_i ld)^{-1/2}, \quad (6.4)$$

onde:

l - comprimento característico da curvatura (do sag) no campo magnético, e

d - espessura da proeminência .

A expressão para o período de oscilação da proeminência foi obtida, calculando-se o ângulo θ da condição de equilíbrio (6.3) e considerando $d \approx R$.

Para $T > 3,3 \times 10^4$ K, a Equação 6.4 dá uma expressão simples para a temperatura do plasma na região da proeminência

$$T \approx 2 \pi^2 / (3)^{1/2} [m_1 l d / k t^2] \quad (6.5)$$

REMOÇÃO DE PLASMA

Para temperaturas de $\approx 8 \times 10^4$ K, ocorre um máximo na perda de energia radiativa, o que leva a uma quebra no equilíbrio térmico, causando o aquecimento da placa (Zaitsev e Stepanov, 1988). A escala de tempo do aquecimento será determinada pela razão na qual o plasma é removido da zona de interação do campo. Nesse caso, podemos escrever

$$t = d/v_A, \quad (6.6)$$

onde:

t - período de repetição (s), e

d - diâmetro da proeminência.

6.2.2 - OSCILAÇÃO DE FILAMENTO

Baorong and Aoao (1988) fizeram uma análise da relação entre a produção dos *flares* homólogos e as mudanças na configuração do campo magnético através das variações nos filamentos relativamente próximos à configuração do campo magnético. Eles propuseram que o efeito *pinch* dos filamento seria uma espécie de mecanismo de recorrência que produziriam os *flares* homólogos. Foi provado através de observações que numa região ativa complicada, a emergência de novos

fluidos magnéticos é contínua e sua velocidade é crescente. Os fluidos magnéticos emergentes interagem com o campo magnético antigo, já existente na região ativa e dão origem à erupção do *flare* sob algumas condições, sendo que a erupção recorrente dos *flares* homólogos, possuem uma relação íntima com a pulsação da secção transversal de um filamento. A estrutura do campo magnético próximo a um filamento ativo tem a forma da Figura 6.4. A emergência induzida do novo fluido magnético na parte de baixo da fotosfera e com polaridade oposta à do campo magnético do filamento, irá comprimir subitamente as correntes de filamento. Se levarmos em conta a alta condutividade da atmosfera solar, a corrente de filamento estará concentrada na camada superficial deste devido ao efeito *skin*. Todavia, a compressão resultará no processo de *dynamic pinch* da coluna de plasma do filamento. Ocorrerá então uma oscilação periódica da coluna de plasma do filamento que corresponderá à pulsação do filamento observada experimentalmente. A reversão de polaridade do novo fluxo magnético emergente, em conjunto com a placa de corrente formada pelo campo magnético do filamento, provocam uma aniquilação rápida do campo magnético e transforma grande parte da energia magnética em energia cinética e calorífica do plasma em um período extremamente curto, levando à erupção do *flare*. Em cada oscilação de filamento, ocorre uma aniquilação rápida de campo magnético.

Nesse caso, o período de oscilação do filamento, considerando a equação de dinâmica do fluido magnético, com as hipóteses simplificadoras de : movimento oscilatório simétrico, isolamento do calor e processos de compressão e expansão, é deduzido teoricamente e dado por

$$\tau \approx \pi a \mu_0 n m_1 (1 - r_{\min}^2) / 2\mu_0 p + B^2, \quad (6.7)$$

onde:

a - raio máximo do filamento durante a pulsação;

r_{\min} - raio mínimo do filamento durante a pulsação;

n - densidade numérica;

p - pressão na região ativa, e

μ_0 - permeabilidade do vácuo.



Fig. 6.4 - Estrutura do campo magnético na região próxima ao filamento ativo .

Fonte: Baorong e Aoa (1988), p. 122.

6.3 - OBSERVAÇÕES

As observações das explosões solares em 1663 MHz que revelaram eventos tipo homólogos e homólogos-like foram realizadas no dia 9 de julho de 1985.

6.3.1 - EXPLOSÕES HOMÓLOGAS

A atividade de explosões homólogas associadas com flare H- α , iniciou-se por volta de 15 42:00 UT. Ela terminou após 5 minutos e a máxima intensidade de fluxo foi de 4 u.f.s. (Figura 6.5a).

Associada à primeira atividade e uma hora após, iniciou-se uma segunda atividade às 16 46:00 UT que se prolongou por \approx 7 minutos (Figura 6.5b). Neste segundo intervalo a intensidade mostrou-se extremamente fraca (de 1,2 a 2,7 u.f.s.) e observamos explosões de vários tipos que, em sua maioria, eram não polarizadas. Estão assinalados na Figura 6.5b, os flares homólogos das 16 48:42, 16 48:55, 16 48:58, 16 49:07 e 16 49:09 UT. Todas essas explosões possuíam duração total de \approx 2s, exibiam pico duplo e, conforme pudemos notar, repetiam-se em intervalos de tempo da ordem de poucos segundos (de 2 a 9s). Na Figura 6.6 mostramos essas explosões expandidas no tempo e, para mostrar a similaridade dos registros no perfil temporal de intensidade tempo, colocamos em uma mesma Figura, as 5 explosões observadas (Figura 6.7). O tempo de subida e o tempo de decaimento dessas explosões eram iguais (\approx 300 ms).

6.3.2 - EXPLOSÕES HOMÓLOGAS-LIKE

As explosões homólogas-like possuem perfis temporais semelhantes e repetem-se de tempos em tempos. A razão da duração total para a diferença do tempo entre dois picos permanece constante.

Observamos 4 explosões homólogas-like cujas características principais estão mostradas na Tabela 6.1. Na Figura 6.8(abcd) aparecem essas explosões homólogas-like que estão descritas a seguir:

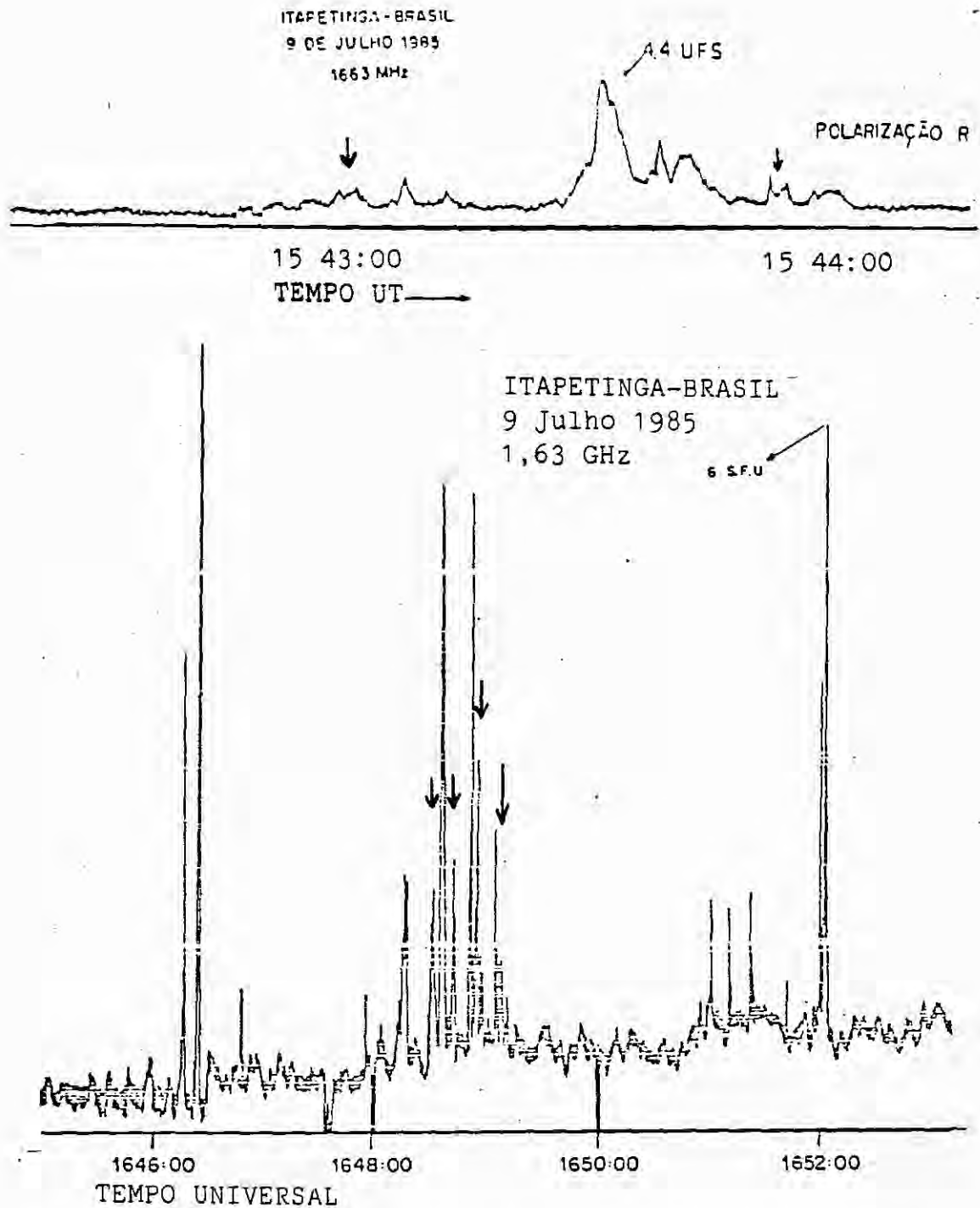


Fig. 6.5 - As atividades das explosões solares que apresentaram explosões do tipo homólogo e homólogos-like por volta de 15:43 UT e 16:48 UT no dia 9 de julho de 1985 em 1663 MHz. As flechas assinalam os *flares* homólogos e homólogos-like.

ATIBAIA-BRASIL

9 JULHO 1985

1,63GHZ

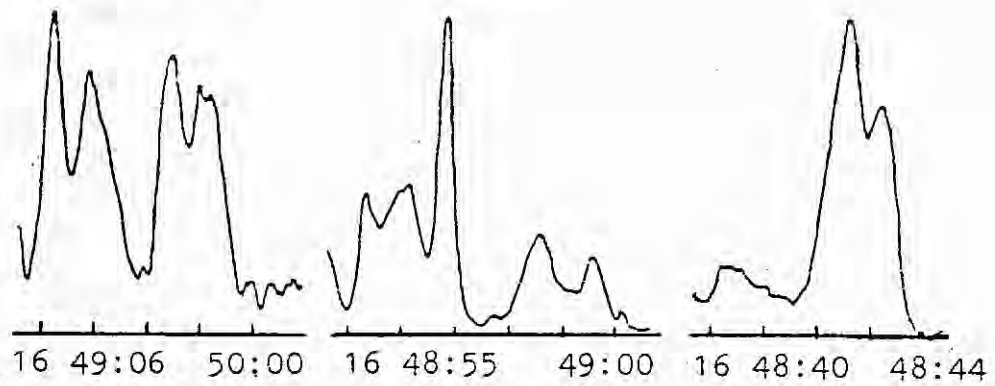


Fig. 6.6 - Exemplos de explosões homólogas em rádio (1663 MHz) expandidas no tempo.

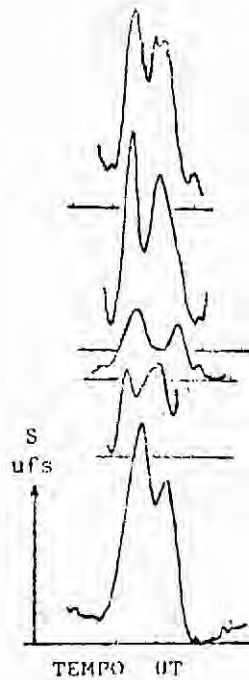


Fig. 6.7 - As 5 explosões observadas em rádio na Fig. 6.6, colocadas juntas para mostrar a similaridade dos registros de intensidade-tempo.

- * Explosão das 15 43:03 UT com duração de tempo total de 4800 ms pico duplo e duração entre os picos de 2640 ms. Ela foi homóloga-like com a explosão das 16 48:58 UT, duração total de 1800 ms, tempo entre os picos de 1000 ms e que se repetiu 1h 5m 55s após a primeira. A razão entre o tempo total e o tempo entre os picos permaneceu constante ($\approx 1,8s$).
- * Explosão das 16 48:30 UT com duração de tempo total de 2300 ms, perfil temporal de pico duplo e com duração entre os picos de 1150 ms, homóloga-like com a das 16 48:54 UT, com tempo total de 1600 ms, tempo entre os picos de 800 ms e que se repetiu 24s após a primeira. A razão entre a duração do tempo total e o tempo entre os picos, foi constante (≈ 2) nos dois casos.

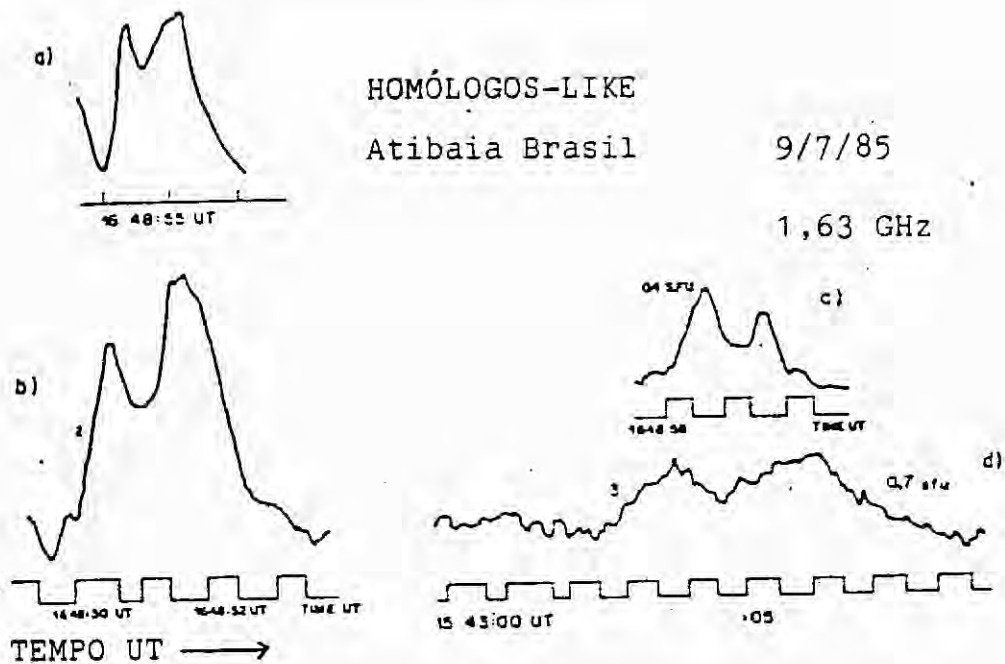
TABELA 6.1 - EXPLOSÕES HOMÓLOGAS-LIKE

Tempo U.T.	Tempo Total (T_t)	Tempo Pico-à-Pico(T_{pp})	T_t/T_{pp}
15 43:03	4800ms	2640ms	1,81
16 48:58	1800ms	1000ms	1,80
16 48:30	2300ms	1150ms	2,00
16 48:54	1600ms	800ms	2,10

6.3.3 - OBSERVAÇÕES H- α ASSOCIADAS

A maioria dos *flares* observados foram associados com a Região Ativa (4671), localizada em S19 W35. Juntamente com as observações em ondas decimétricas, foram realizadas observações e análises em emissão H- α por Gesztelyi (1987), do *Heliophysical*

Observatory of the Hungarian Academy of Sciences, cujos resultados fornecemos a seguir. A Figura 6.9 mostra as manchas observadas em H- α . O grupo de manchas do dia 9 de julho de 1985 consiste de uma mancha velha na parte norte, uma cadeia norte-sul de manchas novas e algumas manchas na parte sul. O campo magnético da mancha velha é de polaridade sul, com campo magnético de 2700 G. Na cadeia de manchas novas, a polaridade é sul e o campo magnético vale de 2000 G a 2200 G. Ao sul, o campo magnético das manchas tem polaridade oposta (norte) e vale 2300 G. Estes valores para o campo magnético foram obtidos do *Soviet Solar Data Bulletin*. O filamento principal (norte-sul) possuía um comprimento de 42.000 km e o filamento curvo, ao norte do grupo, 84.000 km. Existe atividade entre a região onde se localiza o filamento curvo, ao norte do grupo de manchas e a região ativa à noroeste, situada à \approx 12.500 km. Conforme mostramos na Figura 6.9 a principal atividade de sub-flare homólogo, está concentrada na parte sul do meio do grupo, onde novos fluxos magnéticos estão emergindo.



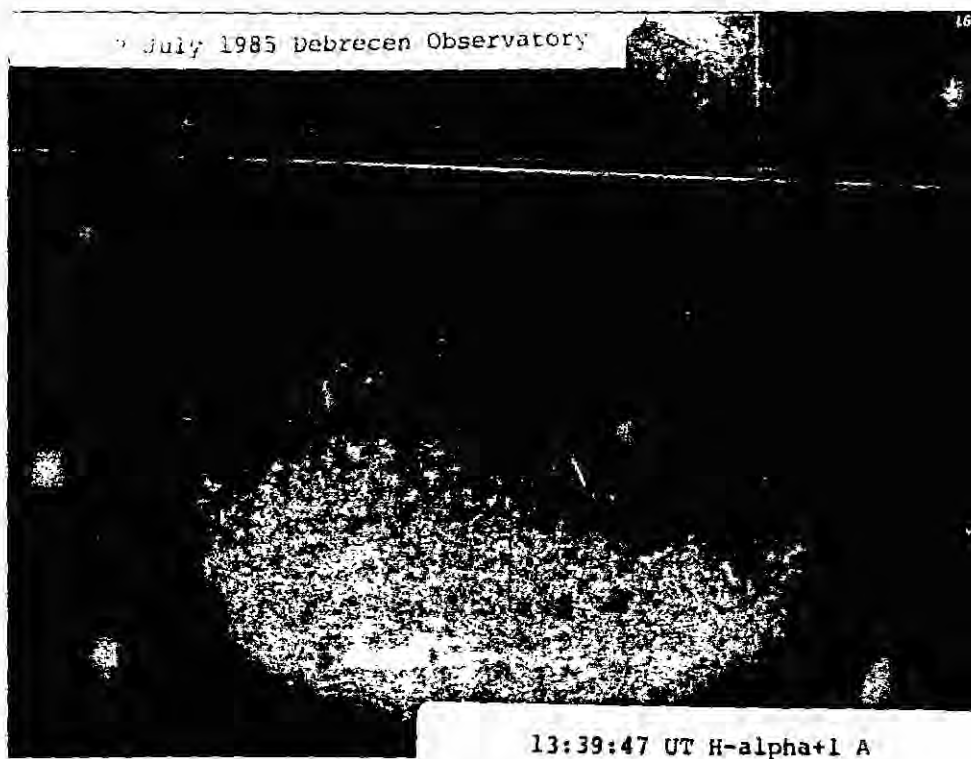


Fig. 6.9 - Grupo de manchas observadas no dia 9 de julho de 1985, em emissão H- α .

Fonte : Gesztelyi (1987), p. 128.

O início da interação entre a mancha velha com a nova deformou a penumbra da mancha velha, conforme pode ser notado das fotos em H- α de 9 de Julho de 1985. Ambas as partes são de mesma polaridade. Foram observados 4 *flares* sub-homólogos, com separação temporal de 40 a 50 min. Na Figura 6.10 estão os *flares* em H- α das 13:42, 14:25 e 15:34 UT. O *flare* das 16:46 UT foi relatado pelo Solar Geophysical Data, para a mesma região. Notamos que o *flare* em H- α das 15 43:54 UT, possuiu uma explosão correspondente em rádio, às 15 43:03 (Figura 6,8d).

6.4 - INTERPRETAÇÃO

Os *flares* homólogos que observamos em rádio (1663MHz) repetiam-se com diferenças temporais de 2 a 10 segundos, enquanto que as explosões homólogas-like associadas aos *flares* homólogos tiveram uma diferença temporal máxima de 40 minutos.

- 1) Convencionalmente, as explosões homólogas são explicadas assumindo-se que os elétrons excitados, ao atravessarem ao longo das linhas de campo magnético com velocidade $0,3 c$, alcançam determinado nível de plasma e geram emissão em rádio no segundo harmônico. Em nosso caso, a emissão no segundo harmônico deve ser gerada em um local de densidade $7,9 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ à uma altitude de 10^4 km acima da fotosfera, de acordo com o modelo de Bombach Allen de Densidade $\times 10$. Nesse caso, as distâncias ao longo do *loop* (correspondendo ao tempo de 2 a 10 s) serão da ordem de 10^5 à 10^6 km para o mesmo intervalo (Figura 6.11). Porém, esta sugestão falha ao explicar os atrasos no tempo da ordem de minutos.

- 2) Zaitsev e Stepanov (1988) examinaram a evolução de pré-flare das regiões ativas do sol, e encontraram que cerca de 10 h antes do flare, ocorreram explosões de raios-X moles liberando, no mínimo, 10^{25} erg de energia com períodos de 40 a 60 min. Elas foram acompanhadas de sub-flares H- α . Esse intervalo encurta à medida que o flare principal se aproxima, passando para 3 a 10 min. entre um e outro. O mesmo ocorre com a emissão da região ativa em ondas de rádio centimétricas e decimétricas sendo que, 10 h antes do flare principal, ela sofre flutuações cíclicas de 40 a 60 min. e que passam de 1 a 5 min quando se aproxima o flare principal.

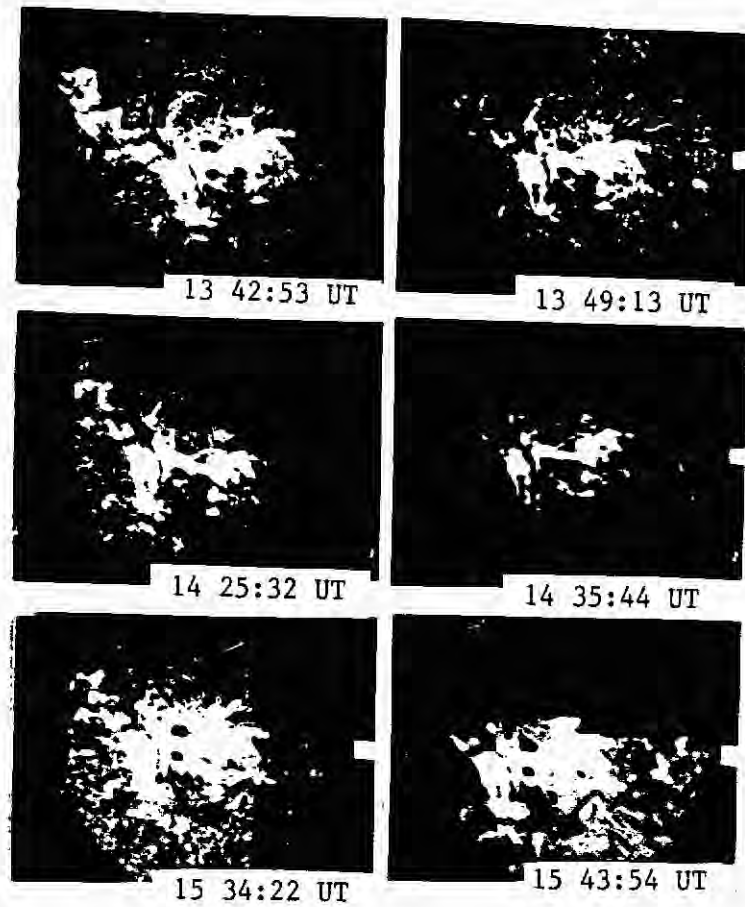


Fig. 6.10 a,b,c - Explosões homólogas conforme foram observadas em fotos H- α , do topo para baixo, às 13:42, 14:25 e 15:34 U.T.

Fonte: Gesztelyi (1987), p. 128.

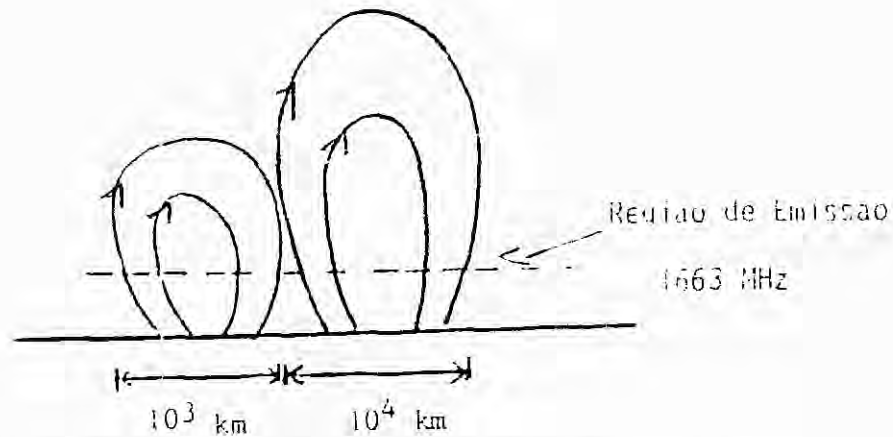


Fig. 6.11- Modelo convencional das explosões homólogas

A equação 6.4, implicará que, se $d = 2 \times 10^8$ cm, a força associada com a curvatura do campo magnético irá predominar sobre a força gravitacional e originará uma temperatura para a proeminência superior a 10^4 K. Considerando $l \approx 5 \times 10^9$ cm e $g = 2,74 \times 10^4$ cm/s², a temperatura da região ativa irá variar entre 10^4 e $(5 - 10) \times 10^6$ K para períodos entre 40 e 5 - 3 min. Esta é a temperatura do *flare* solar. Nós observamos em rádio e em H- α , períodos de 40 min. Nós sugerimos que oscilações de proeminência de ≈ 40 min estão produzindo os *flares* homólogos em microondas e em H- α .

Nós sugerimos que a remoção de plasma em período curto está interagindo com a atmosfera solar com a mesma topologia magnética e o mesmo plasma, e produzindo as explosões solares de mesmo perfil temporal, as *explosões homólogas*, que repetem-se com o tempo.

Usando a repetição de pequenos períodos (\approx segundos), pela Equação 6.5, estimamos a dimensão de um filamento. Para $t = 2$ a 10 segundos e $v_A = 10^3$ km/s, obtivemos

$$d = 10^3 \text{ à } 10^4 \text{ km.}$$

6.5 - CONCLUSÕES

Os *flares* homólogos em H- α e os *flares* homólogos em rádio de curta duração são explicados pela oscilação de proeminências assim como pela remoção de plasma da zona de interação. Em resumo, podemos dizer que :

- 1) Pequenos períodos de repetição das explosões homólogas, de 2 a 10 s, são explicados pelos elétrons excitados que viajam ao longo das linhas de campo magnético com velocidade 0,3 c, e nos permite calcular as dimensões do *loop* (10^5 a 10^6 km).
- 2) Considerando-se que as oscilações de proeminência explicam os pequenos períodos (de segundos), a dimensão de uma proeminência é de $\approx 10^3$ a 10^4 km.
- 3) Para os períodos de repetição de 40 min das explosões homólogas-like, as oscilações de proeminência deduzem que esse seria o tempo necessário para que a oscilação de proeminência aquecesse as regiões ativas até temperaturas de $\approx 10^7$ K e, conseqüentemente acionasse o flare;
- 4) Em nosso caso, a topologia magnética da região ativa permanece mesma pelo menos por um período de 4 horas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Apresentamos ao longo deste trabalho, do capítulo 1 ao 6, aspectos particulares das explosões solares com dados observacionais relevantes à fase impulsiva do *flare*. Esses dados foram aliados aos conceitos teóricos para serem explicados. Entretanto, nós olhamos essas conclusões do ponto de vista dos modelos de *flares* já existentes. Resumimos aqui os modelos de *flare* solar mais aceitos atualmente, incluindo os exigências primárias do modelo na fase impulsiva e sugerimos uma modificação apropriada de modo a se obter algo que se adeque aos dados já obtidos. Resumimos também as conclusões obtidas de um modo auto-consistente. Sugerimos trabalhos teóricos e observacionais futuros.

7.1 - NECESSIDADES PRIMÁRIAS

7.1.1 - ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O *flare* solar representa uma súbita liberação de energia armazenada acima da fotosfera e provavelmente acima da cromosfera, sendo que a maior parte dessa energia é liberada em forma de raios-X ocorrendo na coroa solar. Fotos de raios-X do *Skylab* indicam que muito dessa energia, se não toda, origina-se nas alturas coronais. Existem várias evidências sugerindo que o *flare* representa a súbita liberação de energia armazenada antes do *flare*. O primeiro requisito é que a energia do *flare* seja armazenada como energia livre da corrente que carrega as linhas de campo magnético coronal da atmosfera solar. Essa região deve ter uma estabilidade maior. Por outro lado, a liberação de energia espontânea e súbita é normalmente interpretada como uma instabilidade. Todavia, a configuração deve ser de algum modo estável e de outro instável.

Alternativamente, o *flare* representa um fluxo súbito de energia de baixo da fotosfera na forma de ondas de Alfvén (Piddington, 1973, 1974).

Os *flares* podem ocorrer em regiões magnéticas altamente complexas e essas regiões complexas são mais propensas a originar um *flare* do que as mais simples. Ocasionalmente os *flares* tem sido encontrados em regiões bipolares. Então, um requisito para um modelo de *flare*, é a validade das regiões bipolares.

7.1.2 - LIBERAÇÃO DE ENERGIA

Vimos acima que a energia armazenada pode ser rapidamente liberada durante o *flare*, então é aparentemente conflitante se pensar que a energia do *flare* esteja presente por algum tempo antes do *flare*, e não seja liberada. Este requisito aparentemente conflitante pode ser resolvido de várias maneiras. Aqui, nós consideramos um dos modos apropriados, relevante às nossas investigações. Para mais detalhes veja Sturrock, 1966 e referências.

Durante a fase impulsiva a liberação de energia envolve processos microscópicos e macroscópicos. A liberação de energia magnética num volume muito grande deve envolver o movimento de linhas de campo magnético nesse volume; é improvável que o coeficiente de difusão seja crescente através desse volume, deste modo, o grosso do reajuste do campo magnético ocorre através de processos MHD tal com ondas de Alfvén. O fato de que alguns *flares* excitam a propagação de ondas para fora do local do *flare*, e outros dão origem à transientes coronais, deve ser simplesmente uma manifestação dramática da regra geral de conversão de energia. O processo de conversão de energia deve ser capaz de converter alguma energia em movimento de massa e calor e/ou de partículas altamente energéticas.

7.1.3 - ACELERAÇÃO

A evidência da aceleração de partículas durante a fase impulsiva vem de observações de tipo III e suas variantes *blips*, já que todos os tipos de radiação tais como raios-X, microondas, etc podem ser de origem térmica. Mesmo que o espectro observado seja da lei de potência, ele pode ser construído de combinações de espectros multi-térmicos. Existem basicamente três processos de aceleração de partículas : i) campo elétrico, ii) Fermi e iii) turbulência (Vlahos, 1980).

O mecanismo de aceleração para o *flare*, deve satisfazer três critérios :

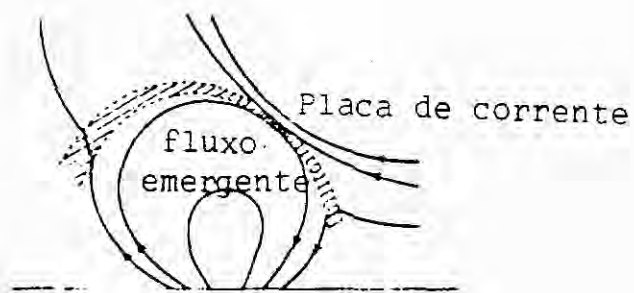
- 1) acelerar o número total de partículas necessárias para produzir toda a emissão radiada;
- 2) ter o tempo de aceleração comparável com as observações;
- 3) os processos de liberação de energia devem estar relacionados com o mecanismo de aceleração.

Vários livros referências, referem-se à esse tópico em detalhes (Sturrock, 1974). Num estudo recente de desenvolvimento da estabilidade das linhas de campo magnético da região ativa, Parkeer (1988) e Vlahos (1989) propuseram que campos bipolares acima da superfície do sol são campos com reconexões em pequenas escalas que terminam em pequenas explosões. Explosões múltiplas são altamente turbulentas e vão formar um grande número de descontinuidade movendo-se ao acaso no espaço. Vlahos (1989), estudou recentemente a aceleração de partículas em tal processo e provou que esse modelo encontra todos os requisitos do mecanismo de aceleração do *flare* citado acima.

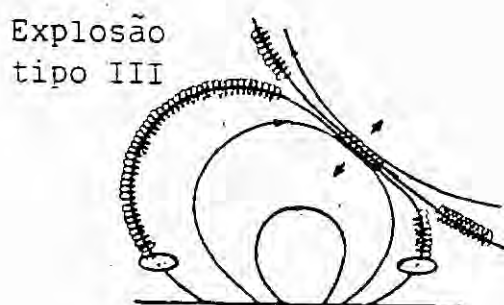
7.2 - MODELO DO FLARE

Basicamente dois tipos de configuração magnética estão envolvidos na construção de modelo de um *flare*, configuração de linhas de campo magnético fechadas (Gold e Hoyle, 1960, Alfvén e Carlqvist, 1967) e linhas de campo magnético abertas. A evidência mais direta de que muitos *flares* envolvem inicialmente linhas de campo magnético abertas, vem das observações das explosões tipo III em rádio, as quais requerem linhas abertas para a propagação dos elétrons responsáveis para a produção de tipo III.

Acredita-se, em geral, que a reconecção das linhas de campo magnético possivelmente liberam energia subitamente, dando origem ao *flare* solar (Heyvaerts et al., 1977). Eles sugeriram um modelo de *flare* levando em conta o fluxo emergente (Figura 7.1). Essa reconecção magnética é acompanhada por fortes campos elétricos ou turbulências, os quais são eficientes para acelerar os elétrons à energias > 100 keV. Se a entrada de energia for muito alta para ser balanceada pela radiação, ocorre uma explosão levando à ondas de choque e turbulência no plasma. A interação fluxo emergente - campo magnético ambiente, se dá numa placa de corrente, na interface entre os dois sistemas. Com o aumento dos fluxos emergentes, a altura da placa de corrente aumenta até um valor crítico, quando então o *flare* é acionado. O sistema vai se tornar instável numa dada altura que depende do valor do campo magnético: quanto maior o campo, menor a altura. Dependendo da topologia do campo magnético ambiente, as ondas de choque podem ser mais fortes quando se movem para cima do que para baixo, e vice versa. Os eventos impulsivos estão predominantemente associados com *flares* nos quais elas se propagam para baixo no sol (Steinacker et al., 1988).



(a) AQUECIMENTO DE PRÉ-FLARE



(b) FASE IMPULSIVA

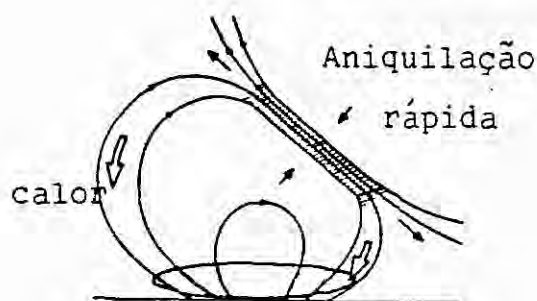


Fig. 7.1 - Modelo de Fluxo emergente. a) durante a fase de pré-flare, o fluxo começa a reconectar-se com o campo antigo. b) Durante a fase impulsiva, a turbulência na placa de corrente, ocasiona uma expansão rápida com liberação de energia. c) Durante a fase principal, a placa de corrente alcança um novo estado estacionário..

Fonte: Heyvaerts et al. (1977), p. 138.

7.3 - FRAGMENTAÇÃO E LIBERAÇÃO DE ENERGIA

A duração típica da fase impulsiva é da ordem de 10 a 100 s com liberação total de energia de $\approx 10^{26}$ a 10^{32} erg, sendo que a maior parte em forma de raios-X. Até 1960 as observações de raios-X eram de resolução temporal muito pobre. Na década de 70, a situação mudou e há indicações de que explosões em raios-X associadas com explosões tipo III possuem duração total da ordem de ≈ 1 s ou menos. Isso levou Van Beek et al. (1974) a sugerirem o conceito de **Explosão Solar Elementar**, i.e., a energia do *flare* é liberada em cada explosão de *flare* elementar (EFB) e é composta de muitas dessas explosões elementares. Essa sugestão foi investigada e confirmada em detalhes por Jager e Jonge (1978).

Na última década, obteve-se dados com alta sensibilidade e resolução em tempo/frequência/energia e em uma larga faixa do espectro com uma indicação de que a constante de tempo da liberação de energia do *flare* seja muito menor que 1 s, e está ocorrendo em vários *loops* complexos (Figura 7.2).

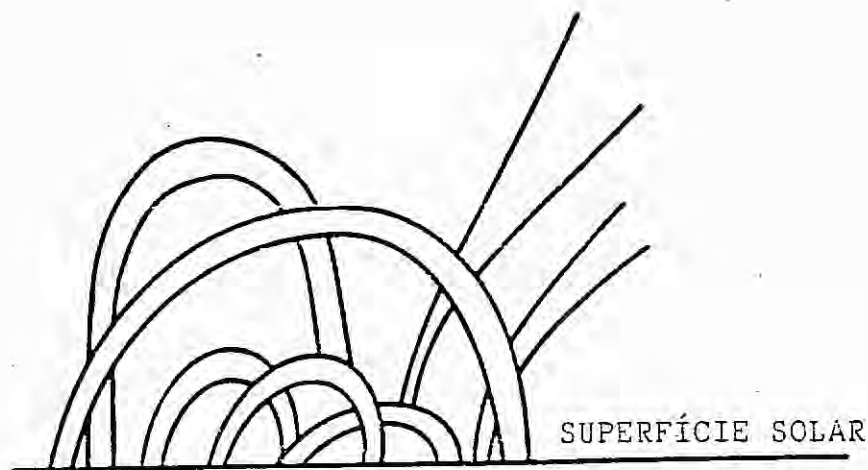


Fig. 7.2 - Interação catastrófica de milhares de fatias de reconecções.

Benz, 1985 mostrou uma evidência de que os spikes em rádio associados com explosões tipo III indicavam uma liberação de energia em pequenas porções. Mais que 10 a 100 spikes por evento tipo III foram observados por Benz et al, (1982), Benz, 1983 sendo que foram milhares de spikes observados por *flare*. Para localizar a fonte de rádio, foram utilizados dados de raios-X com spikes. Sua densidade era igual à densidade da região durante a fase de *pré-flare*, conforme foi determinado por medidas de UV e raios-X moles. Sugeriram ainda que cada spike era um *microflare* no qual a energia era liberada dentro de um pequeno volume ($L \approx 200$ km). Se esses spikes são devido a fragmentação secundária do excitador sobre uma fonte de volume grande, mas torna-se visível somente localmente para tempos curtos. A localização da fonte de emissão deve ser causada por algumas inhomogeneidades no *background* do plasma nos campos. Isso vai requerer inhomogeneidades da ordem de 20 a 50 ms de modo a explicar a emissão de spike. Esse valor é da ordem do tempo de colisão elétron-elétron e exclui qualquer processo simples MHD. Nesse caso, e essa fragmentação de radiação decimétrica reflete a fragmentação de energia liberada .

Recentemente, Aschwarden e Güdel (1990), combinaram dados de 27 *flares* solares com spikes de milisegundos observados no intervalo de frequência de 0,1 a 1 GHz e raios-X duros (SMM) no intervalo de 25 a 500 keV observados entre 1980 e 1989. Essa investigação chegou a uma forte evidência da fragmentação da liberação de energia no *flare*. Eles mediram a altura onde ocorreu a fragmentação $\approx 10^4$ km , sendo que a fragmentação de energia pode ser medida pela emissão de rádio spikes. A densidade da região liberação era de 10^9 a 10^{10} cm⁻³, o campo magnético de 100 a 300 G, correspondente a alturas de 10^3 a 10^4 km.

7.4 - MODELO SUGERIDO

Em nossas investigações surgiram evidências da presença de emissão coerente tipo *spike*.

Os pequenos atrasos no tempo das ondas milimétricas em relação à estruturas-finas de ondas métricas foram explicados pela presença de emissão *maser* das explosões tipo *spikes*.

EMISSÃO DE BLIP

A coincidência no tempo de pico dos blips e das explosões em raios-X associadas, também sugere a presença de emissão *maser* para os *spikes*.

Estudo dos *spikes* por si mesmo sugerem que eles estão ocorrendo no nível onde a densidade de elétron é $\approx 10^9 \text{ cm}^{-3}$ e num volume pequeno com dimensões lineares de $\approx 50 \text{ km}$. Em 408 MHz foram observados mais do que 10 *spikes* por segundo, e em 1663 MHz, o tempo total de duração dos *spikes* era quase igual ao tempo de resolução instrumental. Esses dois processos de liberação de energia deviam estar ocorrendo na mesma escala de tempo.

A correlação de um-para-um de ondas métricas e milimétricas sugerem que processos de aquecimento e aceleração estão envolvidos no mesmo *flare*.

Então, nós sugerimos aqui um modelo do *flare* de fluxo emergente com fragmentação de energia liberada (Figura 7.3) o qual pode encontrar todas as necessidades observacionais discutidas acima.

Milhares de reconecções de eventos em pequenas escalas estão ativas antes e após a fase impulsiva; é o novo fluxo emergente

que cresce o número e a dimensão desses eventos explosivos assim que eles se organizam no espaço e no tempo.

Conforme está na Figura 7.3 assim que o novo fluxo emerge e alcança a altura crítica, o *flare* ocorre i.e., a energia é liberada em milhares de pequenos volumes dentro e fora do *loop* e perto dos pontos condutores do mesmo. Esses pontos vão acelerar partículas dentro e fora do mesmo. As partículas que forem aceleradas para fora do *loop*, perto dos pontos condutores, terão acesso livre ao longo das linhas de campo magnético abertas e irão produzir explosões tipo III e, dependendo do valor do campo magnético e do número total de partículas aceleradas, a energia das partículas crescerá, chegando aos valores (10^{32} a 10^{32} partículas para alcançar 200 keV) observados no caso de tipo III.

As partículas que forem aceleradas dentro do *loop*, precipitam-se na direção dos pés do mesmo produzindo emissão em raios-X e, algumas delas irão produzir emissão coerente por mecanismo de emissão plasma ou girosincrotrônico para produzir as explosões tipo spikes.

Essa radiação intensa escapando para fora irá acelerar as partículas e produzirá as estruturas-finas e as estruturas tipo blips observadas.

A fase impulsiva será então acionada pelo novo fluxo emergente na alta e na baixa coroa.

7.5 - CONCLUSÃO

A seguir, colocamos as conclusões para cada assunto estudado.

7.5.1 - EXPLOSÕES EM ONDAS MILIMÉTRICAS E MÉTRICAS TIPO III.

* Realizamos pela primeira vez, observações simultâneas multiespectrais de explosões solares associadas com a fase impulsiva do flare, ocorrendo na cromosfera e coroa respectivamente, com alta sensibilidade e resolução temporal e tempo absoluto melhor que as investigações anteriores (100 ms).

* A comparação temporal das explosões em ondas milimétricas (22 GHz) com explosões tipo III em ondas métricas na frequência de início (237, 327 e 408 MHz), mostrou que os atrasos observados entre os picos de ondas milimétricas (0,5s) em relação à métricas são de 3 a 6 vezes menores do que o esperado (1,5 e 3,0 s), se a emissão de tipo III for no fundamental ou no segundo harmônico respectivamente.

* Esses atrasos menores sugerem que a energia dos elétrons responsáveis pela emissão de tipo III é de ≈ 200 keV e a emissão de ondas métricas é gerada no fundamental de frequências altas, acima de 237 MHz.

* A distância mínima que o feixe de elétrons deve percorrer antes de tornar instável desde a região de aceleração até a região de emissão de ondas métricas no flare solar, foi estimada em $3,3 \times 10^4$ km, na direção das linhas de campo magnético abertas.

* A associação dos eventos em ondas métricas tipo III e em ondas milimétricas de um-para-um, é um caso observacional raro. Isso sugeriu que os flares são compostos de aquecimento e aceleração de partículas ocorrendo em vários loops complexos e em alturas diferentes.

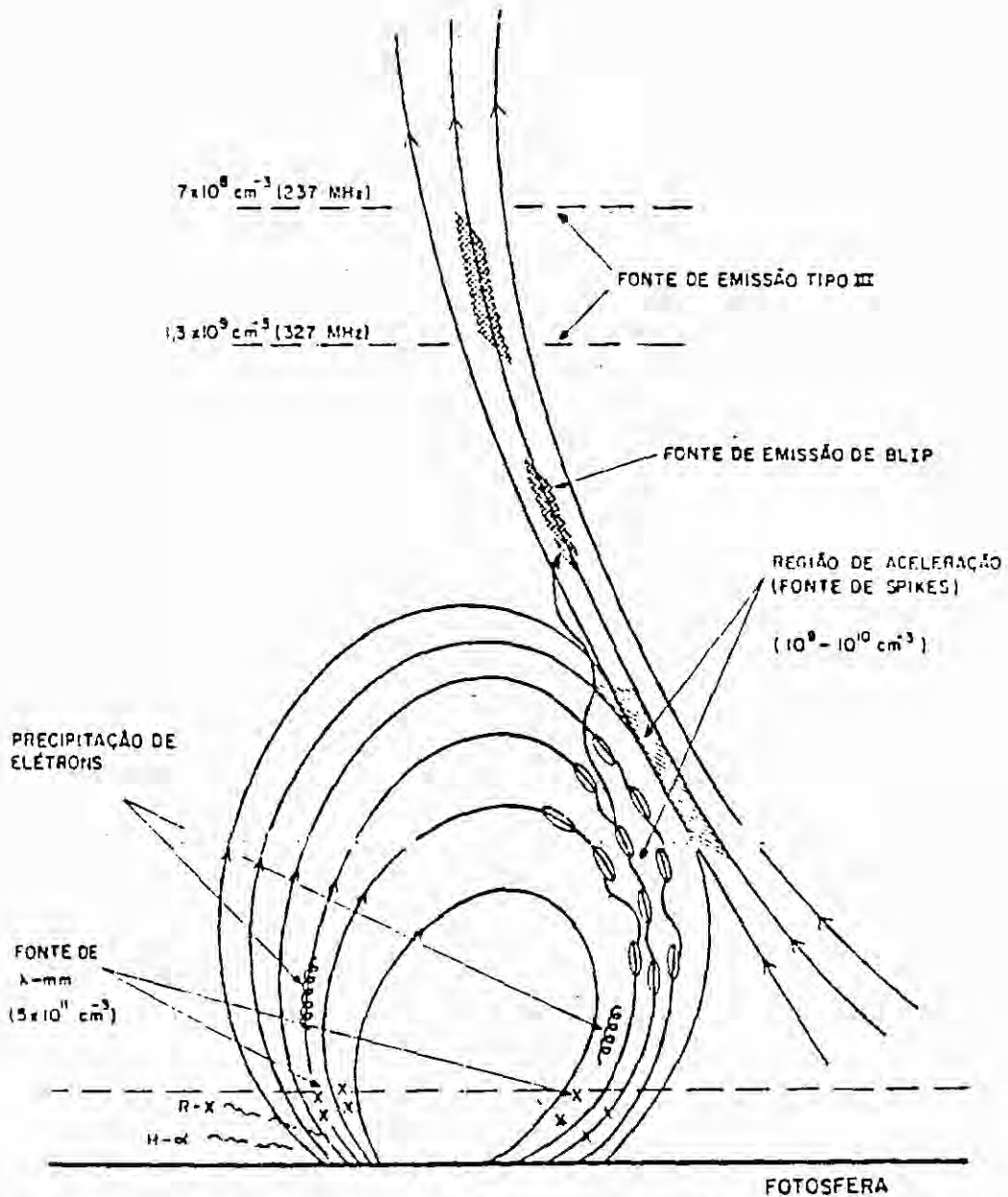


Fig. 7.3 - Modelo de *Flare Polar de Fluxo Emergente*. Quando o fluxo bipolar de linhas fechadas (fluxo emergente) interage com o fluxo antigo (de linhas abertas) acelera as partículas perto da região de interação e dentro do loop. As primeiras, saem para cima, ao longo das linhas abertas e originam radiação tipo III, enquanto as partículas aceleradas dentro do loop precipitam-se para os pés do mesmo dando radiação-X e milimétricas. - Além disso, geram radiação coerente que saindo fora do loop, aceleram partículas que vão originar radiação métrica estruturas-finas (*blips*).

* Nesse caso os atrasos e coincidências, levam à crer que a frequência é dependente da razão entre o tempo de aceleração e o tempo de aquecimento (casos de $\Delta t \neq 0$).

* Normalmente a emissão em ondas milimétricas é devido à elétrons não térmicos. Ocasionalmente, pode ocorrer de elétrons térmicos.

7.5.2 - ESTRUTURAS-FINAS

* O estudo de correlação temporal de estruturas-finas de banda estreita em frequência, $\Delta f < 100$ MHz e tempo total < 300 ms em ondas métricas, com explosões em ondas milimétricas, indica que os atrasos observados de ondas métricas em relação à milimétricas foram três vezes menor do que observamos no caso de ondas métricas tipo III.

* Esse atraso menor pode ser explicado se fizermos a sugestão de que as estruturas-finas são geradas por elétrons secundários acelerados pela radiação intensa e coerente na alta coroa.

7.5.3 - RADIÔMETRO DE 1663 MHz

* Observamos as explosões solares tipo *spikes* pela primeira vez na faixa de frequência de 1663 MHz, com alta sensibilidade e alta resolução temporal, com a antena de 13,7 m de diâmetro de Itapetinga-Atibaia, aproveitando a montagem utilizada pelo projeto VEGA, em junho de 1985.

* Essas observações foram realizadas conforme sugestão do CESRA feitas durante os três últimos *workshops*.

7.5.4 - BLIPS

* Os *blips* em 1663 MHz foram observados pela primeira vez em frequência acima de 1000 MHz. Eles originam-se na baixa coroa, perto da região de aceleração, em local onde a densidade de elétrons vale 10^9 a 10^{10} cm^{-3} , e o número de elétrons necessários para a geração dessas explosões é de 10^{32} elétrons.

* Os estudos das características temporais dos *blips*, com 15 % de polarização circular a direita, (tempo de excitação 200(+/-25) ms e tempo de decaimento de 130(+/-25) ms) em comparação com espectro dinâmico na faixa de frequência de 100 a 1000 MHz, sugerem que os *blips* são variantes de tipo III, e são gerados pelo mecanismo de interação do feixe de elétrons com o plasma no segundo harmônico.

* A correlação temporal de raios-X com *blips* isolados em 1663 MHz, com resolução temporal > 100 ms e alta sensibilidade, sugerem que os *blips* são gerados por elétrons acelerados secundariamente.

* Esses elétrons são acelerados pela radiação coerente gerada na explosão tipo *spike*.

7.5.5 - SPIKES

* A investigação, pela primeira vez, de *spikes* de baixa intensidade, sugere temperatura de brilhância de 10^{11} a 10^{13} K e dimensões de fonte < 50 km.

* Assumindo-se a instabilidade MHD e que o agente excitador sejam velocidades de Alfvén de 3.000 km/s, os fatores acima levam a crer que o mecanismo de emissão de *blips* e *spikes* seja o mecanismo *electron-cyclotron-maser* no segundo harmônico. Essas

investigações não permitem que se chegue a conclusão final sobre qual o mecanismo mais apropriado (*electron-cyclotron-maser* ou emissão plasma).

* As investigações de spikes de 408 MHz, assumindo-se que a instabilidade seja a mesma citada acima e que a velocidade de Alfvén seja da ordem de 1.000 km/s, também sugerem que as dimensões das fonte sejam da mesma ordem, assim como o mecanismo de emissão seja do mesmo tipo. Esses fatores levam à conclusão que a dimensão das fontes de emissão de spikes é independente da frequência e da intensidade de fluxo.

* Os spikes em 1663 MHz mais rápidos tinham tempo total de 5 ms e os de 408 MHz de 40 ms.

7.5.6 - HOMÓLOGOS

* As explosões homólogas-*like*, com o mesmo perfil temporal mas multiplicado no tempo, foram observadas pela primeira vez em microondas.

* As observações de alta sensibilidade em ondas decimétricas nos permitiram observar eventos tipo homólogos e homólogos-*like* de razão de repetição longa (≈ 40 min). Essa periodicidade, quando se assume o mecanismo de oscilação de proeminência, explica a ocorrência de explosões homólogas e homólogos-*like* em microondas e em H- α .

* As explosões homólogas com períodos de repetição curtos (de 2 a 10 s), assumindo-se que elétrons de velocidade 0,3 c geram radiação no nível do *loop*, sugerem dimensões de *loop* de $\approx 10^5$ km a 10^6 km.

* Se os *flares* homólogos de períodos curtos forem gerados

pelo mecanismo de oscilação de proeminência, estimamos dimensões da proeminência da ordem de 10^3 a 10^4 km.

* Observações de *flares* homólogos-*like* de periodicidade de ≈ 40 min, simultaneamente em rádio e em H- α , nos mostraram que a topologia da região ativa não muda por períodos de ≈ 4 h.

* Essas conclusões para a fase impulsiva do *flare*, sugerem que a energia está sendo liberada em períodos curtos de tempo, em fontes de dimensões muito pequenas. Também sugerem que ocorre emissão coerente de radiação de altas intensidades que levam ao modelo de fluxo emergente.

7.6 - TRABALHOS FUTUROS

7.6.1 - OBSERVACIONAL

Até agora vários grupos fizeram observações das explosões solares em ondas milimétricas e em ondas métricas, porém usando sempre uma mesma região ativa nas observações de ondas milimétricas. Precisamos de investigações mais detalhadas, de ondas milimétricas e métricas (tipo III e estruturas-finas) com espectro, com alta sensibilidade e resolução temporal, feitas em conjunto com radio heliógrafo, para resolver os problemas de mecanismo de emissão e das energias de elétrons envolvidas, independente do modelo de densidade .

As observações de blips e spikes precisam ser realizadas em espectros, com alta sensibilidade , junto com observações de posição (Interferometria) a fim de resolver o problema de ocorrência dessas emissões próximas da região ativa. Essas observações estão planejadas pelo grupo de física solar do INPE, em conjunto com CALTECH com a antena de 30 e 60 m de diâmetro.

Novas investigações de spikes e blips em conjunto com raios-X com alta sensibilidade e resolução temporal, poderão explicar mais claramente a relação entre a ocorrência da explosão com a liberação de energia primária ou secundária. Elas estão planejadas para abril/91 em conjunto com o observatório GRO-JPL realizando observações em raios-X. O lançamento do satélite do GRO está previsto para abril/1991.

As observações homólogas e homólogas-like em microondas com alta resolução, junto com observações em emissão H- α terão continuidade, para melhor compreensão da relação de aquecimento da região ativa e periodicidade observadas nesses flares.

7.6.2 - TEÓRICO

Paralelo às observações, terão continuidade também os estudos teóricos sobre a interação do feixe de elétrons com o plasma, levando em conta os aspectos : i) elétrons de altas energias, ii) altas densidades do feixe, iii) coroa não homogênea e iv) temperatura decrescente.

Considerando-se as observações recentes de *spikes*, pode-se desenvolver um modelo teórico coerente com as mesmas, que se defina sobre o mecanismo de geração *electron-cyclotron-maser* ou interação do feixe com o plasma.

Finalmente, levando em conta o tempomuito curto de aceleração e as energias de partículas até a ordem de MeV, e fontes muito pequenas de emissão, pode-se desenvolver uma teoria de aceleração de partículas.

7.6.3 - INSTRUMENTAÇÃO

Nosso trabalho em ondas métricas, decimétricas e milimétricas, teve o apoio de várias instituições que nos cederam os espectros. Para dar continuidade à pesquisa, foi desenvolvido no INPE, o primeiro espectógrafo Latino Americano usando a antena de 9 m de diâmetro, operando em 1.600 (+/- 50) MHz com resolução temporal de ≈ 20 ms e resolução em frequência de 100 KHz, que brevemente será aumentada para 100 MHz e 2.500 MHz, com alta sensibilidade e resolução temporal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFVÉN, H.; CARLQVIST, P. Currents in the solar atmosphere and a theory of solar flares. *Solar Physics*, 1(1):220-228, 1967.
- ALVAREZ, H.; HADDOCK, F.T. Decay time of type III solar bursts observed at kilometric wavelengths. *Solar Physics*, 30(1):175-182, 1973.
- ASCHWANDEN, M.; BENZ, A.O. The frequency-time drift of pulsations *Astronomy and Astrophysics*, 158(1):102-112, 1986.
- AUBIER, M.; BOISCHOT, A. An exciter of type III bursts and coronal temperature. *Astronomy and Astrophysics*, 19(1):343-353, Jan. 1972.
- BAI, T.; RAMATY, R.; Gama ray and microwave evidence for two phases acceleration in solar flares. *Solar Physics*, 49(2):343-358, June. 1976.
- BAORONG, L.; AOAQ, X. The pulsation of filamente and a possible mechanism of homologous flares. Aceito para publicação no *Solar Physics*, June. 1988.
- BARROW, C.H.; SAUNDERS, H. Fast polarized pulses in decameter-wave radiation from the sun. *Astrophysical Letters*, 12(1):211-214, Sep. 1972.
- BATCHELOR, D.A. Energetic electrons in impulsive solar flares. (Tese de Doutorado) - University of North Carolina, USA, May, 1984. 152p.
- BENZ, A.O.; ZLOBEC, P. Correlation between drift rate and polarization in solar type III radio bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 63(1/2):137-145, Feb. 1978.

- BENZ, A.O.; FURST, E.; HIRT, W.; PERRENOUD, M.R. Solar radio blips and X-ray kernels. *Nature*, 291:210-211, May. 1981.
- BENZ, A.O.; ZLOBEC, P.; JAEGGI, M. Fine structure near the starting frequency of solar type III radio bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 109:305-313, May. 1982.
- BENZ, A.O.; BERNOLD, T.; DENNIS, B. Blips and hard X-ray in solar flares. *The Astrophysical Journal*, 271(1):355-366, Aug. 1983.
- BENZ, A.O.; BARROW, C.H.; DENNIS, B.R.; PICK, M.; RAOULT, A.; SIMNET, G. X-ray and radio emission in the early stages of solar flares. *Solar Physics*, 83(1):267-283, 1983.
- BENZ, A.O. Radio spikes and the fragmentation of flare energy release. *Solar Physics*, 96(2):357-370, 1985.
- BENZ, A.O.; KANE, S.R.; Electron acceleration in flares inferred from radio and hard X-ray emissions. *Solar Physics*, 104(1): 179-185, 1986a.
- BENZ, A.O. Millisecond radio spikes. *Solar Physics*, 104(1):99-110, Mar. 1986b.
- BHONSLE, R.V.; SAWANT, H.S.; DEGAONKAR, S.S. Exploration of the solar corona by high resolution solar decametric observations. *Space Science Reviews*, 24(1):259-346, Dec. 1979.
- BROWN, J.C.; SMITH, D.F.; SPICER, D.S. *The Sun as a Star: Solar flare observations and their interpretation*. Washington, NASA, Jordan SP-450, 1981.

- BRUGGMANN, G.; BENZ, A.O.; MAGUN, A.; STHLING, M. Solar flare microwave observations with high spectral resolution. Aceito para publicação no *Astronomy and Astrophysics*, Feb. 1990.
- CHUPP, E.L. High-energy neutral radiations from the sun. *Astronomy and Astrophysics*, 22(2):359-387, 1984.
- CILLIÉ, G.G.; MENZEL, D.H. Harvard College Observatory Circular, 410, 1935.
- CLIVER, E.W.; FORREST, D.J.; CANE, H.V.; REAMES, D.V.; McGUIRE, R.E. von ROSENGINGE, T.T.; KANE, S.R.; McDOWALL, R.J. Solar flare nuclear gamma-rays and interplanetary proton events. *The Astrophysical Journal*, 343(2):953-970, 1989.
- CORNELL, M.E.; HURFORD, G.J.; KIPLINGER, A.L.; DENNIS, B.R. The relative timing of microwaves and hard X-rays in solar flares. *The Astrophysical Journal*, 279(2):875-881, Apr. 1984.
- CRANNELL, C.J.; DULK, G.A.; KOSUGI, T. MAGUN, A. Observations and interpretation of solar flares at microwave frequencies. *Solar Physics*, 18:155-183, Mar. 1988.
- DENNIS, B.R.; BENZ, A.O.; RANIERI, M.; SIMNETT, C.G.; Decimetric type III radio bursts and associated hard X-ray spikes. *Solar Physics*, 90(2):383-399, Feb. 1984.
- DROGE, F. E RIEMANN, P. *Inf. Bull Solar Radio Obs. Europe*, 8:6, 1961.
- DRÖGE, F. Beobachtungen solarer radio bursts mit hoher zeitauflösung *Zitschrift Für Astrophysics*, 66:200-214, Nov. 1967.

- DULK, G.A.; MELROSE, D.B.; WHITE, S.M. The Gyrosynchrotron emission from quasi-thermal electron and application to solar flares
The Astrophysical Journal, 234(3):1137-1147, Dec. 1979.
- DULK, G.A.; MARSH, K.A. Simplified expressions for the gyrosynchrotron radiation from mildly-relativistic, nonthermal and thermal electrons
The Astrophysical Journal, 259(1):350-358, Aug. 1982.
- DULK, G.A.; MCLEAN, D.J.; NELSON, G.J. **Solar radio physics: Solar flares**. Cambridge. Ed. D.J. McLean & N.R. Labrum, University Press, 1985.
- ELGARROY, O.; LYNGSTAD, E. High resolution observations of type III solar radio bursts. **Astronomy and Astrophysics**, 16(1):1-12, 1972.
- ELGARROY, O. **Solar noise storms** New York, Ed. Ter Haar, 1977.
(International Series in Natural Philosophy).
- ELGARROY, O. Type III-like solar radio burst. **Astronomy and Astrophysics**, 82(2):308-313, 1980.
- ELLISON, M.A.; MCKENNA, S.M.P.; REID, J.A. **Dundalk Observatory Publ.** 1:3, 1960.
- FOKKER, A.D. Homology of solar flare-associated radio events. **Solar Physics**, 2(1):316-326, 1967.
- FROST, K.J.; DENNIS, B.R. Evidence from hard X-ray for two stage particles acceleration in a solar flare. **The Astrophysical Journal** 165(3):655-659, May. 1971.

- FÜRST, E.; BENZ, A.O.; HIRTH, W. About the relation between radio and soft X-ray emission in case of very weak solar activity. **Astronomy and Astrophysics** 178(1):107-117, 1982.
- GARY, D.E.; HURFORD, G.J. Solar radio burst spectral observations particle acceleration, and wave-particle interactions. **Conference on Outstanding Problems in Solar System Plasma Physics**, Pasadena, CALTEC, Big Bear Solar Observatory, Mar. 1988.
- GERGELY, T.E e KUNDU, M.R. Decameter studies of the 5 september 1973 flare. **Solar Physics**, 71(1):65-75, 1981.
- GESZTELYI, L. O sol em H- α , visto pelo Observatório Heliográfico da Academia de Ciências da Hungria. São José dos Campos, 1987. Comunicação pessoal.
- GINZBURG, V.L.; ZHELEZNYAKOV, V.V. On the possible mechanisms of sporadic solar radio emission (Radiation in an isotropic plasma). **Soviet Astronomy**. n. AJ., 2:653-662, 1958.
- GOLD, T.; HOYLE, F. **Monthly Notices Roy. Astr. Soc.** 120:89-91, 1960.
- GÖDEL, M.; BENZ, A.O. Time profiles of solar radio spikes. **Astronomy and Astrophysics**, 231(1):202-212, 1990.
- GUIDICE, D.A.; CASTELLI, I.P. The use of extraterrestrial radio sources in the measurement of antenna parameters. **Iee Transactions of Aerospace and Electronic Systems AES**, 7(2):226-234, Mar. 1971.
- HEYVAERTS, J.; PRIEST, E.R.; RUST, D.M. An energing flux model for the solar flare phenomenon. **The Astrophysical Journal**, 216(1):123-137, 1977.

- HOLMANN, G.D. Acceleration of runaway electrons and joules heating in solar flares. *The Astrophysical Journal*, 293:584-594, June 1985.
- HOLT, S.; RAMATY, R. Microwave and hard X-ray bursts from solar flares *Solar Physics*, 8(1):119-141, Mar. 1969
- HULOT, E.; VILMER, N.; TROTTEY, G. Relative timing of solar prompt γ -ray line and X-ray emission expected from a trap plus precipitation model for protons and electrons. *Astronomy and Astrophysics*, 213(2):383-396, 1989.
- JAGER, C.; JONGE, G. Properties of elementary flare bursts. *Solar Physics*, 58(1):127-137, Feb. 1978.
- KAHLER, S.W.; MOORE, R.L.; KANE, S.R.; ZIRIN, H. Filament eruptions and the impulsive phase of solar flares. *The Astrophysical Journal* 328:824-829, May . 1988.
- KAI, K.; NAKAJIMA, H.; KOSUGI, T.; KANE, S.R. Late phase gradual enhancements in microwaves and hard X-rays of the 6 november 1980 flare. *Solar Physics*, 86(1):231-236, 1983.
- KAI, K.; NAKAJIMA, H.; KOSUGI, T.; STEWART, R.T.; NELSON, G.J.; KANE, S.R. Radio evidence for a delayed acceleration process in solar flares. *Solar Physics*, 105(1):383-398, 1986.
- KANE, S.R.; ANDERSON, K.A. Spectral characteristics of impulsive solar-flare X-rays 10 keV. *The Astrophysical Journal*, 162(1): 1003-1018, Dec. 1970.
- KANE, S.R. **Impulsive (flash) phase of solar flares** : hard X-ray microwave, EUA and optical observations, In: Newkirk, G. ed., Dordrecht, Reidel, 1974. p. 105 (IAU Symposium, n. 57).

- KANE, S.R. Energetic electrons type III radio bursts and impulsive solar flare X-rays. *The Astrophysical Journal*, 247:1113-1121, Aug. 1981.
- KANE, S.R.; BENZ, A.O.; TREUMAN, R.A. Electron acceleration in impulsive solar flares. *The Astrophysical Journal*, 263(1):423-432, Dec. 1982.
- KAUFMANN, P.; STRAUSS, F.M.; SHALL, R.E.; LAPORTE, C. The use of the large MM-wave antenna at itapetinga in high - sensitivity solar research. *Solar Physics*, 78(2):389-399, Jun. 1982a.
- KAUFMANN, P.; COSTA, J.E.R.; STRAUSS, F.M. Time delays in solar bursts measured in the MM-CM range of wavelengths. *Solar Physics*, 81(1): 159-172, Nov. 1982b.
- KAUFMANN, P.; STRAUSS, F.M.; COSTA, J.E.R.; DENNIS, B.R.; KIPLINGER, A. FROST, K.J.; ORWIG, L.E. Microwave and hard X-ray observations of a solar flare with a time resolution better than 100 ms. *Solar Physics*, 84(1/2):311-319, Apr. 1983.
- KAUFMANN, P.; CORREIA, E.; COSTA, J.E.R.; DENNIS, B.R.; HURFORD, G.J. BROWN, J.C. Multiple energetic injections in a strong spike like solar burst. *Solar Physics*, 91(1):359-376, 1984.
- KERDRAON, A.; PICK, M.; TROTTEY, G.; SAWER, C.; ILLING, R.; WAGNER, W. HOUSE, L. The association of radio noise storm enhancements with the appearance of additional material in the corona. *The Astrophysical Journal (Letter)*, 265(1):L19-L21, 1983.
- KIPLINGER, A.L.; DENNIS, B.R.; EMSLIE, A.G.; FROST, K.J.; ORWIG, L.E. Millisecond time variation in hard X-ray solar flare. *The Astrophysical Journal*, 265(2):L99-L104, Feb. 1983.

- KLEIN, K.L.; ANDERSON, K.; PICK, M.; TROTTE6T, G.; VILMER, N.; KANE, S.R. Association between gradual hard X-ray emission and metric continua during larrge flares. *Solar Physics*, 84(1):295-310, 1983.
- KOSUGI, T. Radio and X-ray observations of a multiple impulsive solar burst with high time resolution. *Solar Physics*, 71(1):91-105, May, 1981.
- KRAUSS, J.D. *Radio astronomy*. 2.ed. USA, Mc Graw-Hill Book Company, 1966.
- KUNDU, M.R.; ROBERTS, J.A.; SPENCER, C.J.; KUIPER, J.W. A comparison of the dynamic spectra of solar radio bursts in the decimeter and meter- wave-lenght ranges. *The Astrophysical Journal*, 133(1): 255-257, Jan. 1961.
- KUNDU, M.R.; SPENCER, C.L. Spectral characteristics of solar continuun radiation in the 500-1000 Mc/s range. *The Astrophysical Journal* 137(1/2):572-579, Jan. 1963.
- KUNDU, M.R. *Solar radio astronomy*. 3.ed. New York, Interscience , 1965
- LATTARI, C.J.B. *Exploração da atividade solar de baixo nível (Atividade de de pequena intensidade) na coroa e cromosfera*. (Tese de Mestrado em Ciência Espacial-Radioastronomia e Física Solar) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Maio, 1989. 83 p.
- MACHADO, M.E. An evidence of flare energy buildings and release related to magnetic shear and reconnection. *Solar Physics*, 99(1):159-166, 1985.

- MACHADO, M.E.; MOORE, R.L.; HERNANDEZ, A.M.; ROVIRA, M.G.; HAYGARD, M.J. E SMITH, J.B. The observed characteristics of flare energy release I) Magnetic structure at the energy release site. *The Astrophysical Journal*, 326(1):425-450, Mar. 1988.
- MACKEAN, M.E.; WINGLEE, M.R.; DULK, G.A. Frequency fine structure in microwave spike bursts emitted during solar flares. **Workshop on Max 91/SMM Solar Flares Observations and Theory at Ests Park, Colorado, June 3-7, 1990.**
- MALVILLE, J.M.; ALLER, H.D.; JANSEN, C.J. Spike burst during the type IV event of february,5, 1965. *The Astrophysical Journal*, 147(3): 711-717, Jan. 1967.
- MARTRES, M.J. The Homologous flare events in solar active regions. *Solar Physics*, 119(2):357-384, May. 1989.
- MÄTZLER, C. Microwave radiation from thermal,hard X-ray sources. *Astronomy and Astrophysic*, 70(1/2):181-188, 1978.
- MELROSE, D.B.; DULK, G.A. Electron cyclotron masers as the source of certain solar and stellar radio bursts. *The Astrophysical Journal*, 259:844-858, Aug. 1982.
- MELROSE, D.B. **Solar radiophysics: elementary theoretical concepts.** Sydney, D.J. McLean and V.R. Labrun, 1985.
- MOORE, R.L.; MCKENZIE, D.L.; SVESTKA, Z.; WIDING, K.G.; ANTIOCHOS, S.K.; PERE, K.P.; DODSON-PRINCE, H.W.; HIEI, E.; PRALL, K.R.; KREIGER, A.S.; MASON, H.E.; PETRASSO, R.D.; PNEUMAN, G.W.; SILK VORPAHL, J.A.; WITHBROE, G.L. **Solar flares**, Sydney, P.Sturrock 1980. 341p.

- NAKAJIMA, H.; DENNIS, B.R.; HOYNG, P.; NELSON, G.; KOSUGI, T.; KAI, K.
Microwave and X-ray observations of delayed brightnings at sites
remote from the primary flare locations. *The Astrophysical Journal*,
288(2):806-819, Jan. 1985.
- OHKI, K.; TAKAKURA, T.; TSUNETA, S.; NITTA, N. General aspects of hard
X-ray flares observed by Hinotory: gradual burst and impulsive burst.
Solar Physics, 86(2):301-312, 1983.
- ORWIG, A.; FRÖST, K.J.; DENNIS, B.R. Observation of solar flares
on 1980 april 30 and june 7 with the hard X-ray burst spectrometer.
The Astrophysical Journal, 244(3):L163-166, 1981.
- PAPADOPOLOUS, K.; FREUND, H.P. Colective radio-emission from plasmas.
Space Science Reviews, 24(4):511-566, 1979.
- PARKER, E.N. Nanoflares and the solar X-ray corona. *The Astrophysical
Journal*, 330(2):474-479, 1988.
- PERRENOUD, M.R. The computer-controlled solar radio spectrometer
"ICARUS". *Solar Physics*, 81(1):197-203, Nov. 1982
- PIDDINGTON, J.H. A model of solar flares and faculae. *Solar Physics*,
31(1):229-241, 1973.
- PIDDINGTON, J.H. The Alfven-wave theory of solar flares. *Solar Physics*
38(2):465-481, 1974.
- RAMATY, R.; PETROSSIAN, V. Free-free absortion of gyrosynchrotron
radiation in solar microwave bursts. *The Astrophysical Journal*,
178(1):241-249, 1972.

RAOULT, A. ; PICK, M.; DENNIS, B.R.; KANE, S.R. Solar flare development during the impulsive phase as deduced from correlated radio and hard X-ray observations. *The Astrophysical Journal*, 299(3):1027-1035, 1985.

RAOULT, A.; CORREIA, E.; LANTOS, P.; KAUFMANN, P.; KLEIN, K.L.; GENOUVILLAC, G. Relative timing of microwave bursts and metric type III bursts. Implication on the energy of type III burst exciter. *Solar Physics*, 120(2):125-136, Jan. 1989.

REAMES, D.V. Bimodal abundances in the energetic particles of solar and interplanetary origin. *The Astrophysical Journal (Letters)*, 330:L71-L75, 1988.

ROSELEN, C. Temperatura de antena de Taurus-A em 1663 GHz. Atibaia, Julho, 1985. Comunicação pessoal .

ROSENBERG, H. *Instabilities in the Solar Corona*, s.n.t.

SAITO, K. Streamer electronics density model. *Annales Tokyo Astronomical Observatory*, 12:53-67, 1970.

SAWANT, H.S.; GERGELEY, T.E.; KUNDU, M.R. Positions of type III fundamental and harmonic sources in the 30-100 MHz range. *Solar Physics*, 77(1/2):249-254, Apr. 1982 .

SAWANT, H.S.; KAUFMANN, P.; CORREIA, E.; COSTA, J.E.R.; ZLOBEC, P.; MESSEROTTI, M.; FORNASSARI, L. Association of time structures of solar bursts at millimetric and metric waves. *Advanced Space Research*, 4(7):251-254. 1984.

- SAWANT, H.S.; TREVISAN, R.H.; COSTA, J.E.R.; ZLOBEC, P.; MESSEROTTI, M.
Relative timings of mm-waves and associated m-waves solar bursts.
Workshop on Radio Emission During Solar Flares, Aubgny-France,
June 22-26, 1986.
- SAWANT, H.S.; COSTA, J.E.R.; TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B.;
KAUFMANN, P. Low level decimetric (1,6 GHz) solar burst activity .
Solar Physics, 111(1):189-199, Jul. 1987a.
- SAWANT, H.S.; LATTARI, C.J.B.; COSTA, J.E.R.; TREVISAN, R.H.; KALMAN,
B.; GESZTELYI, L. Explosões decimétricas com aparência de homólogos
Revista Ciência e Cultura, 39:626, Jul. 1987b .
- SAWANT, H.S.; LATTARI, C.J.B.; BENZ, A.O.; DENNIS, B.D. Hard X-rays
and associated weak decimetric bursts. **Solar Physics**, 130(1):57-63,
Nov. 1990.
- SLONIN, Y.M. e KULESHOVA, K.F. Homologous solar flares of May 13 and
16, 1981. **Sov. Astron.** 27(6):689-691, Dec. 1983
- SLOTTJE, C. Millisecond microwave spikes in a solar flare.
Nature, 275(1):520-521, 1984.
- SMITH, R.A.; GOLSDSTEIN, M.L.; PAPADOPOULOS, K. Nonlinear stability of
solar type III radio bursts theory. **The Astrophysical Journal**,
234(1):348-362, 1979.
- SOLAR GEOPHYSICAL DATA PROMPT REPORTS (SGD). Boulder, CO, NOAA, vol 492
(1) (supplement), Aug 1985. Bimensal.
- SPRANGLE, P.; VLAHOS, L. Electron wave acceleration outside a
flaring loop. **The Astrophysical Journal**, 273(2):L95-L99, Oct. 1983.

- STÄHLI, M.; MAGUN, A. The microwave spectrum of solar microwave spikes
Solar Physics, 104(1):117-125, Jan. 1986.
- STÄHLI, M.; BENZ, A.O. Microwave emission of solar electron beams
Astronomy and Astrophysics, 175(1/2):271-276, Mar. 1987.
- STEINACKER, J.; DROGE, W.; SCHLICKEISER, R. Particle acceleration in
 impulsive solar flares. *Solar Physics*, 115(2):313-326, Mar. 1988.
- STURROCK, P.A. Explosive and nonexplosive onset of instability.
Physical Review Letters, 16(7):270-273, Feb. 1966.
- STURROCK, P.A. *Solar Flares*, Colorado, Interscience, 1980, 512p.
- SUBRAMANIAN, K.R.; KRISHAN, V.; SASTRY, V. On the correlation between
 exciter duration and decay constant of solar decameter type III
 radio bursts. *Solar Physics*, 70(1):375-379, Feb. 1981 .
- SVETKA, Z. *Solar Flares*, Boston, Reidel-Dordrecht, 1976. 399p.
- TAKAKURA, T. The self absorption of gyrosynchrotron emission in a
 magnetic dipole field: microwave impulsive burst and hard X-ray
 burst. *Solar Physics*, 26(2):151-175, Apr. 1972
- TAPPING, K.F.; KUIJPERS, J.; KAASTRA, J.S.; Van NIEUWKOOP, J.;
 GRAHAM, D.; STOTTJE, C. VLBI of Solar Flares. *Astronomy and
 Astrophysics*, 122(1):177-180, Jan. 1983.
- TREVISAN, R.H.; SAWANT, H.S.; KALMAN, B.; GESZTELYI, L. Homologous
 and homologous like microwave solar radio burst. *Revista Mexicana
 de Astronomia y Astrofisica*, 20:557-561, 1990a.

- TREVISAN, R.H.; SAWANT, H.S. An unusual case of meter wave type-III bursts leading millimeter-wave bursts. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, 42., Porto Alegre, Julho, 1990. *Anais*. Porto Alegre, SBPC, 1990b, v.2, p 384.
- TROTET, G. Relative timing of hard X-rays and radio emissions during the different phases of solar flares: consequences for the electron acceleration. *Solar Physics*, 104(1):145-163, 1986.
- TRUBNIKOV, B.A. **Absortions coefficients**. (Tese de doutorado) - Universidade de Moscou, English translation 1960. (USAEC Tech. Information Service AEC-tr-4073). 1958.
- TSUNETA, S.; TAKAKURA, T.; NITTA, N.; OHKI, K.; MAKISHIMA, K. MURAKAMI, T.; ODA, M.; OGAWARA, Y.; KONDO, I. Hard X-ray imaging of the solar flare at 1981 May 13 with the Hinotory Spacecraft. *The Astrophysical Journal*, 280(3):887-891, 1984.
- URPO, S. A Homologous microwave flare on May 29, 1980. *Advanced Space Reseach*, 11(2):105-107, Jan. 1983.
- VAN BEEK, H.F.; DE FEITER, L.D. e DE JAGER, C. Hard X-ray observation of elementary flare burst and their interpretation. In: **COSPAR Plenary Meeting**, 16., Constance S.R.G., 23 de Maio - 5 de Junho 1973. *Proceedings of Open Meeting of Working Group*. Berlin, Academie - Verlag, 1974, p.447-452. (Space Research, 14)
- VILMER, N.; KANE, S.R.; TROTET, G. Impulsive and gradual hard X-ray sources in a solar flare. *Astronomy and Astrophysics*, 108(1):306-313, 1982.

VLAHOS, L.; ROWLAND, H.L. Electron precipitation in solar flares : collisionless effects. **Astronomy and Astrophysics**, 139(1):263-270, Oct. 1980.

VLAHOS, L. Particle acceleration in solar flares. **Solar Physics** 121(2):431-446, 1989.

WALDEMEIER, M. H- α Flares. **Z.Astrophysics**, 16:276-278, 1938.

WIEHL, H.J.; BENZ, A.O.; ASCHWANDEN, M.J. Different time constants of solar decimetric burst in the range 100-1000 MHz. **Solar Physics** 95(1):167-179, Jan. 1985.

WILSON, R.F.; KEIN, K.L.; KERDRAON, A.; LANG, K.R.; TROTTET, G. **The Astrophysical Journal**, 357:662-665, 1990.

YONG, C.W.; SPENCER, C.L.; MORETON, G.E.; A preliminary study of the dynamic spectra of solar radio bursts in the frequency range 500-950 Mc/s. **The Astrophysical Journal**, 133(1):243-250, Jan. 1961.

YOSHIMORI, M. Observational study of gamma rays and neutrons from solar flares. **Space Science Reviews**, 51(1/2):85-115, Oct. 1989.

ZAITSEV, V.V.; STEPANOV, A.V. Active region heating and the oscillations of prominences. **Soviet Astronomical Letters**, 14(3):193-195, May-June, 1988.

APÊNDICE A

EQUAÇÃO :

$$A_s(p, k) = 4\pi^2 e^2 c^2 \beta_{\perp}^2 [\omega n \delta(\omega n) / \delta\omega (1 + T^2)] \times \{ [K \sin\theta + (\cos\theta - n\beta) T] / [n\beta \sin\theta] \}^2$$

onde : n - índice de refração

K - parte longitudinal da polarização

T - razão axial da elipse de polarização

APÊNDICE B

TABELA : MODELO DE DENSIDADE DE SAITO

FREQUÊNCIA	DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)
113.2729	1.5940422F+00	1.100000
108.2178	1.4459141F+08	1.110000
103.5535	1.3233551F+08	1.120000
99.18575	1.2145450F+08	1.130000
95.14404	1.1175787F+08	1.140000
91.58060	1.0309174F+08	1.150000
87.67082	9.5324464F+07	1.160000
84.50192	8.8343120F+07	1.170000
81.52377	8.2050944F+07	1.180000
78.04810	7.6364504F+07	1.190000
75.94844	7.1211920F+07	1.200000
73.40989	6.6551016F+07	1.210000
71.01902	6.2267924F+07	1.220000
68.76569	5.8375884F+07	1.230000
66.603297	5.4814232F+07	1.240000
64.610899	5.1547444F+07	1.250000
62.710052	4.8544544F+07	1.260000
60.900370	4.5778312F+07	1.270000
59.17106	4.3224900F+07	1.280000
57.53197	4.08803504F+07	1.290000
55.97030	3.86675004F+07	1.300000
54.48058	3.65843024F+07	1.310000
53.05577	3.4754652F+07	1.320000
51.69730	3.2995194F+07	1.330000
50.39501	3.1353792F+07	1.340000
49.14710	2.9820218F+07	1.350000
47.95010	2.8385334F+07	1.360000
46.80081	2.7040940F+07	1.370000
45.69034	2.5779700F+07	1.380000
44.60339	2.4594974F+07	1.390000
43.53131	2.3480822F+07	1.400000
42.47605	2.2431850F+07	1.410000
41.427010	2.1443178F+07	1.420000
40.38955	2.0510382F+07	1.430000
39.3587462	1.9620450F+07	1.440000
38.33430	1.8796722F+07	1.450000
37.31515	1.80008854F+07	1.460000
36.30367	1.7262800F+07	1.470000
35.29790	1.6555768F+07	1.480000
34.297061	1.5885192F+07	1.490000
33.3014466	1.5248728F+07	1.500000
32.3144090	1.4644214F+07	1.510000
31.3305058	1.4069654F+07	1.520000
30.349052	1.3523207F+07	1.530000
29.369906	1.30003173F+07	1.540000
28.392386	1.25007480F+07	1.550000
27.416491	1.2036170F+07	1.560000
26.44240	1.1586325F+07	1.570000
25.469570	1.1157385F+07	1.580000
24.496420	1.0747985F+07	1.590000
23.523731	1.0357102F+07	1.600000
22.551450	9983716.	1.610000
21.579252	9626883.	1.620000
20.607522	9285715.	1.630000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	26.93907	DEN=	8959388.	D=	1.640000
F=	26.46539	DEN=	8647120.	D=	1.640909
F=	26.00001	DEN=	8348180.	D=	1.650909
F=	25.55410	DEN=	8061013.	D=	1.660909
F=	25.11572	DEN=	7787640.	D=	1.670909
F=	24.68022	DEN=	7524796.	D=	1.680909
F=	24.27130	DEN=	7272790.	D=	1.690909
F=	23.86460	DEN=	7031100.	D=	1.709999
F=	23.46170	DEN=	6799221.	D=	1.710909
F=	23.08054	DEN=	6576682.	D=	1.720909
F=	22.70250	DEN=	6363030.	D=	1.730909
F=	22.33555	DEN=	6157809.	D=	1.740909
F=	21.97323	DEN=	5960776.	D=	1.750909
F=	21.62133	DEN=	5771304.	D=	1.760909
F=	21.27761	DEN=	5599340.	D=	1.770909
F=	20.94179	DEN=	5444306.	D=	1.780909
F=	20.61360	DEN=	5295005.	D=	1.790909
F=	20.29209	DEN=	5084016.	D=	1.800909
F=	19.97954	DEN=	4920174.	D=	1.810909
F=	19.67312	DEN=	4776108.	D=	1.820909
F=	19.37351	DEN=	4633747.	D=	1.830909
F=	19.08055	DEN=	4494652.	D=	1.840909
F=	18.79309	DEN=	4360609.	D=	1.850909
F=	18.51370	DEN=	4231509.	D=	1.860909
F=	18.23949	DEN=	4107148.	D=	1.870909
F=	17.97119	DEN=	3987205.	D=	1.880909
F=	17.70563	DEN=	3871552.	D=	1.890909
F=	17.45167	DEN=	3760010.	D=	1.900909
F=	17.20014	DEN=	3652407.	D=	1.910909
F=	16.95301	DEN=	3548501.	D=	1.920909
F=	16.71203	DEN=	3446378.	D=	1.930909
F=	16.47070	DEN=	3351640.	D=	1.940909
F=	16.23557	DEN=	3256253.	D=	1.950909
F=	16.00191	DEN=	3160057.	D=	1.960909
F=	15.77073	DEN=	3080932.	D=	1.970909
F=	15.53900	DEN=	2996757.	D=	1.980909
F=	15.30671	DEN=	2915416.	D=	1.990909
F=	15.07550	DEN=	2836791.	D=	2.000909
F=	14.84540	DEN=	2760784.	D=	2.010909
F=	14.61536	DEN=	2687292.	D=	2.020909
F=	14.38572	DEN=	2616215.	D=	2.030909
F=	14.15644	DEN=	2547462.	D=	2.040909
F=	13.92750	DEN=	2481043.	D=	2.050909
F=	13.69900	DEN=	2416576.	D=	2.060909
F=	13.47092	DEN=	2354276.	D=	2.070909
F=	13.24317	DEN=	2293908.	D=	2.080909
F=	13.01566	DEN=	2235578.	D=	2.090909
F=	12.78839	DEN=	2179032.	D=	2.100909
F=	12.56137	DEN=	2124264.	D=	2.110909
F=	12.33453	DEN=	2071200.	D=	2.120909
F=	12.10790	DEN=	2019803.	D=	2.130909
F=	11.88140	DEN=	1969007.	D=	2.140909
F=	11.65502	DEN=	1921702.	D=	2.150909
F=	11.42874	DEN=	1874896.	D=	2.160909
F=	11.20253	DEN=	1829513.	D=	2.170000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	12.07074	DEN=	1785504.	D=	2.180999
F=	11.08143-	DEN=	1742810.	D=	2.190999
F=	11.73944	DEN=	1701412.	D=	2.200999
F=	11.50002	DEN=	1661230.	D=	2.210999
F=	11.46311	DEN=	1622257.	D=	2.220999
F=	11.52365	DEN=	1584423.	D=	2.230999
F=	11.19059	DEN=	1547690.	D=	2.240999
F=	11.06087	DEN=	1512046.	D=	2.250999
F=	10.93945	DEN=	1477427.	D=	2.260999
F=	10.81477	DEN=	1443807.	D=	2.270999
F=	10.69126	DEN=	1411153.	D=	2.280999
F=	10.57043	DEN=	1379432.	D=	2.290999
F=	10.45160	DEN=	1348613.	D=	2.300999
F=	10.33490	DEN=	1318665.	D=	2.310999
F=	10.22029	DEN=	1289560.	D=	2.320999
F=	10.10750	DEN=	1261260.	D=	2.330999
F=	9.996753	DEN=	1233706.	D=	2.340999
F=	9.887024	DEN=	1207026.	D=	2.350999
F=	9.7800730	DEN=	1181022.	D=	2.360999
F=	9.675449	DEN=	1155732.	D=	2.370999
F=	9.571923	DEN=	1131133.	D=	2.380999
F=	9.470124	DEN=	1107201.	D=	2.390999
F=	9.370015	DEN=	1083916.	D=	2.400999
F=	9.271556	DEN=	1061257.	D=	2.410999
F=	9.174722	DEN=	1039204.	D=	2.420999
F=	9.079471	DEN=	1017732.	D=	2.430999
F=	8.985775	DEN=	996841.	D=	2.440999
F=	8.893000	DEN=	976405.	D=	2.450999
F=	8.802915	DEN=	956682.	D=	2.460999
F=	8.713099	DEN=	937587.	D=	2.470999
F=	8.625005	DEN=	918903.	D=	2.480999
F=	8.539500	DEN=	900284.	D=	2.490999
F=	8.454481	DEN=	882447.	D=	2.500999
F=	8.370000	DEN=	865067.	D=	2.510999
F=	8.289452	DEN=	848129.	D=	2.520999
F=	8.207300	DEN=	831620.	D=	2.530999
F=	8.127503	DEN=	815526.	D=	2.540999
F=	8.049040	DEN=	799840.	D=	2.550999
F=	7.971703	DEN=	784543.	D=	2.560999
F=	7.895561	DEN=	769628.	D=	2.570999
F=	7.820588	DEN=	755081.	D=	2.580999
F=	7.746763	DEN=	740893.	D=	2.590999
F=	7.674063	DEN=	727052.	D=	2.600999
F=	7.602468	DEN=	713549.	D=	2.610999
F=	7.531953	DEN=	700374.	D=	2.620999
F=	7.462501	DEN=	687517.	D=	2.630999
F=	7.394000	DEN=	674970.	D=	2.640999
F=	7.326700	DEN=	662722.	D=	2.650999
F=	7.260313	DEN=	650767.	D=	2.660999
F=	7.194909	DEN=	639095.	D=	2.670999
F=	7.130469	DEN=	627698.	D=	2.680999
F=	7.066970	DEN=	616569.	D=	2.690999
F=	7.004412	DEN=	605701.	D=	2.700999
F=	6.942760	DEN=	595085.	D=	2.710999
F=	6.882101	DEN=	584715.	D=	2.720999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	6.822122	DEN=	574584.5	D=	2.739999
F=	6.703103	DEN=	564080.1	D=	2.749999
F=	6.704932	DEN=	555013.8	D=	2.759999
F=	6.647590	DEN=	545561.5	D=	2.769999
F=	6.591064	DEN=	536322.6	D=	2.779999
F=	6.535340	DEN=	527292.3	D=	2.789999
F=	6.480401	DEN=	518464.2	D=	2.799999
F=	6.426234	DEN=	509835.2	D=	2.809999
F=	6.372825	DEN=	501393.8	D=	2.819999
F=	6.320161	DEN=	493141.2	D=	2.829999
F=	6.268227	DEN=	485070.0	D=	2.839999
F=	6.217012	DEN=	477175.9	D=	2.849999
F=	6.166502	DEN=	469455.0	D=	2.859999
F=	6.116080	DEN=	461899.3	D=	2.869999
F=	6.067550	DEN=	454508.2	D=	2.879999
F=	6.019082	DEN=	447270.0	D=	2.889999
F=	5.971272	DEN=	440190.0	D=	2.899999
F=	5.924107	DEN=	433272.2	D=	2.909999
F=	5.877570	DEN=	426492.7	D=	2.919999
F=	5.831670	DEN=	419850.0	D=	2.929999
F=	5.786375	DEN=	413359.0	D=	2.939999
F=	5.741683	DEN=	406999.1	D=	2.949999
F=	5.697583	DEN=	400771.0	D=	2.959999
F=	5.654064	DEN=	394672.0	D=	2.969999
F=	5.611110	DEN=	388699.1	D=	2.979999
F=	5.568730	DEN=	382848.9	D=	2.989999
F=	5.526897	DEN=	377118.4	D=	2.999999
2. ASAITU					
F=	160.1920	DEN=	5.1600845E+08	D=	1.100000
F=	153.0431	DEN=	2.50914282E+08	D=	1.110000
F=	146.4184	DEN=	2.64607102E+08	D=	1.120000
F=	140.2090	DEN=	2.42908899E+08	D=	1.130000
F=	134.5540	DEN=	2.2351574E+08	D=	1.140000
F=	129.2510	DEN=	2.0618349E+08	D=	1.150000
F=	124.2891	DEN=	1.9064095E+08	D=	1.160000
F=	119.6310	DEN=	1.768624E+08	D=	1.170000
F=	115.2920	DEN=	1.6410189E+08	D=	1.180000
F=	111.2252	DEN=	1.5272901E+08	D=	1.190000
F=	107.4075	DEN=	1.4242384E+08	D=	1.200000
F=	103.8175	DEN=	1.3306203E+08	D=	1.210000
F=	100.4361	DEN=	1.2453585E+08	D=	1.220000
F=	97.24655	DEN=	1.1675177E+08	D=	1.230000
F=	94.23325	DEN=	1.0982646E+08	D=	1.240000
F=	91.39209	DEN=	1.0309499E+08	D=	1.250000
F=	88.69041	DEN=	9.706908E+07	D=	1.260000
F=	86.11670	DEN=	9.1556024E+07	D=	1.270000
F=	83.69055	DEN=	8.6449800E+07	D=	1.280000
F=	81.36250	DEN=	8.172600E+07	D=	1.290000
F=	79.15397	DEN=	7.735000E+07	D=	1.300000
F=	77.04710	DEN=	7.3287248E+07	D=	1.310000
F=	75.03501	DEN=	6.9509304E+07	D=	1.320000
F=	73.11102	DEN=	6.5990388E+07	D=	1.330000
F=	71.26930	DEN=	6.2707584E+07	D=	1.340000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	69.50449	-DEN=	5.9640430F+07	D=	1.350000
F=	67.01168	DEN=	5.0770068F+07	D=	1.360000
F=	60.18635	DEN=	5.4081880F+07	D=	1.370000
F=	64.02430	DEN=	5.1559400F+07	D=	1.380000
F=	63.12199	DEN=	4.9180948F+07	D=	1.390000
F=	61.67570	DEN=	4.6901044F+07	D=	1.400000
F=	60.28235	DEN=	4.4863700F+07	D=	1.410000
F=	50.93090	DEN=	4.2863550F+07	D=	1.420000
F=	57.04271	DEN=	4.1020764F+07	D=	1.430000
F=	50.30125	DEN=	3.9258900F+07	D=	1.440000
F=	55.10214	DEN=	3.7593444F+07	D=	1.450000
F=	54.01326	DEN=	3.6017700F+07	D=	1.460000
F=	52.88264	DEN=	3.4525000F+07	D=	1.470000
F=	51.78036	DEN=	3.3111530F+07	D=	1.480000
F=	50.72870	DEN=	3.1770384F+07	D=	1.490000
F=	49.70205	DEN=	3.0497450F+07	D=	1.500000
F=	48.70601	DEN=	2.9288420F+07	D=	1.510000
F=	47.74185	DEN=	2.8130300F+07	D=	1.520000
F=	40.60555	DEN=	2.7046414F+07	D=	1.530000
F=	45.09077	DEN=	2.6006340F+07	D=	1.540000
F=	43.01430	DEN=	2.5015960F+07	D=	1.550000
F=	44.15721	DEN=	2.4072340F+07	D=	1.560000
F=	43.32431	DEN=	2.3172780F+07	D=	1.570000
F=	42.51460	DEN=	2.2314770F+07	D=	1.580000
F=	41.72737	DEN=	2.1495970F+07	D=	1.590000
F=	40.96157	DEN=	2.0714204F+07	D=	1.600000
F=	40.21044	DEN=	1.9967432F+07	D=	1.610000
F=	39.40120	DEN=	1.9253760F+07	D=	1.620000
F=	38.78512	DEN=	1.8571430F+07	D=	1.630000
F=	38.09752	DEN=	1.7918770F+07	D=	1.640000
F=	37.42771	DEN=	1.7294240F+07	D=	1.640000
F=	36.77508	DEN=	1.6696378F+07	D=	1.650000
F=	36.13905	DEN=	1.6123825F+07	D=	1.660000
F=	35.51809	DEN=	1.5575207F+07	D=	1.670000
F=	34.91442	DEN=	1.5049591F+07	D=	1.680000
F=	34.32480	DEN=	1.4545579F+07	D=	1.690000
F=	33.74964	DEN=	1.4062200F+07	D=	1.700000
F=	33.18840	DEN=	1.3598441F+07	D=	1.710000
F=	32.64081	DEN=	1.3153364F+07	D=	1.720000
F=	32.10626	DEN=	1.2726076F+07	D=	1.730000
F=	31.58441	DEN=	1.2315730F+07	D=	1.740000
F=	31.07484	DEN=	1.1921552F+07	D=	1.750000
F=	30.57718	DEN=	1.1542767F+07	D=	1.760000
F=	30.09108	DEN=	1.1178680F+07	D=	1.770000
F=	29.61617	DEN=	1.0828011F+07	D=	1.780000
F=	29.15212	DEN=	1.0491929F+07	D=	1.790000
F=	28.69861	DEN=	1.0168032F+07	D=	1.800000
F=	28.25534	DEN=	0.9856347.	D=	1.810000
F=	27.82199	DEN=	0.9550336.	D=	1.820000
F=	27.39829	DEN=	0.9267604.	D=	1.830000
F=	26.98505	DEN=	0.8994304.	D=	1.840000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	26.57672	DEN=	8721357.	D=	1.950404
F=	26.18232	DEN=	8465138.	D=	1.860404
F=	25.79453	DEN=	8214296.	D=	1.870404
F=	25.41510	DEN=	7974410.	D=	1.880404
F=	25.04579	DEN=	7745104.	D=	1.890404
F=	24.68079	DEN=	7520021.	D=	1.900404
F=	24.32460	DEN=	7304814.	D=	1.910404
F=	23.97643	DEN=	7097163.	D=	1.920404
F=	23.63551	DEN=	6896756.	D=	1.930404
F=	23.30165	DEN=	6703297.	D=	1.940404
F=	22.97470	DEN=	6516906.	D=	1.950404
F=	22.65447	DEN=	6336113.	D=	1.960404
F=	22.34079	DEN=	6161864.	D=	1.970404
F=	22.03349	DEN=	5993514.	D=	1.980404
F=	21.73239	DEN=	5830827.	D=	1.990404
F=	21.43735	DEN=	5673581.	D=	2.000404
F=	21.14621	DEN=	5521568.	D=	2.010404
F=	20.86493	DEN=	5374563.	D=	2.020404
F=	20.58705	DEN=	5232450.	D=	2.030404
F=	20.31474	DEN=	5094924.	D=	2.040404
F=	20.04670	DEN=	4961887.	D=	2.050404
F=	19.78508	DEN=	4833151.	D=	2.060404
F=	19.52920	DEN=	4708552.	D=	2.070404
F=	19.27752	DEN=	4587907.	D=	2.080404
F=	19.03060	DEN=	4471156.	D=	2.090404
F=	18.78793	DEN=	4358065.	D=	2.100404
F=	18.55070	DEN=	4248529.	D=	2.110404
F=	18.31764	DEN=	4142418.	D=	2.120404
F=	18.08809	DEN=	4039605.	D=	2.130404
F=	17.86443	DEN=	3939974.	D=	2.140404
F=	17.64414	DEN=	3843404.	D=	2.150404
F=	17.42704	DEN=	3749791.	D=	2.160404
F=	17.21572	DEN=	3659025.	D=	2.170404
F=	17.00740	DEN=	3571007.	D=	2.180404
F=	16.80280	DEN=	3485658.	D=	2.190404
F=	16.60207	DEN=	3402824.	D=	2.200404
F=	16.40400	DEN=	3322470.	D=	2.210404
F=	16.21120	DEN=	3244514.	D=	2.220404
F=	16.02113	DEN=	3168846.	D=	2.230404
F=	15.83437	DEN=	3095398.	D=	2.240404
F=	15.65102	DEN=	3024091.	D=	2.250404
F=	15.47072	DEN=	2954853.	D=	2.260404
F=	15.29360	DEN=	2887614.	D=	2.270404
F=	15.11975	DEN=	2822307.	D=	2.280404
F=	14.94885	DEN=	2758865.	D=	2.290404

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	14.78001	DEN=	2697226.	D=	2.309909
F=	14.61587	DEN=	2637330.	D=	2.319909
F=	14.45367	DEN=	2579120.	D=	2.329909
F=	14.29425	DEN=	2522538.	D=	2.339909
F=	14.13754	DEN=	2467533.	D=	2.349909
F=	13.98350	DEN=	2414052.	D=	2.359909
F=	13.83205	DEN=	2362045.	D=	2.369909
F=	13.68315	DEN=	2311465.	D=	2.379909
F=	13.53674	DEN=	2262265.	D=	2.389909
F=	13.39278	DEN=	2214440.	D=	2.399909
F=	13.25120	DEN=	2167832.	D=	2.409909
F=	13.11100	DEN=	2122513.	D=	2.419909
F=	12.97302	DEN=	2078408.	D=	2.429909
F=	12.84031	DEN=	2035476.	D=	2.439909
F=	12.70780	DEN=	1993663.	D=	2.449909
F=	12.57745	DEN=	1952891.	D=	2.459909
F=	12.44920	DEN=	1913306.	D=	2.469909
F=	12.32302	DEN=	1874775.	D=	2.479909
F=	12.19880	DEN=	1837187.	D=	2.489909
F=	12.07660	DEN=	1800570.	D=	2.499909
F=	11.95644	DEN=	1764895.	D=	2.509909
F=	11.83811	DEN=	1730134.	D=	2.519909
F=	11.72164	DEN=	1696258.	D=	2.529909
F=	11.60700	DEN=	1663241.	D=	2.539909
F=	11.49415	DEN=	1631056.	D=	2.549909
F=	11.38300	DEN=	1599680.	D=	2.559909
F=	11.27369	DEN=	1569082.	D=	2.569909
F=	11.16601	DEN=	1539256.	D=	2.579909
F=	11.05908	DEN=	1510163.	D=	2.589909
F=	10.95358	DEN=	1481786.	D=	2.599909
F=	10.84927	DEN=	1454105.	D=	2.609909
F=	10.74515	DEN=	1427090.	D=	2.619909
F=	10.64179	DEN=	1400740.	D=	2.629909
F=	10.53957	DEN=	1375035.	D=	2.639909
F=	10.43692	DEN=	1349940.	D=	2.649909
F=	10.33615	DEN=	1325445.	D=	2.659909
F=	10.23763	DEN=	1301535.	D=	2.669909
F=	10.14114	DEN=	1278191.	D=	2.679909
F=	10.04401	DEN=	1255397.	D=	2.689909
F=	9.94214	DEN=	1233140.	D=	2.699909
F=	9.83573	DEN=	1211402.	D=	2.709909
F=	9.72544	DEN=	1190171.	D=	2.719909
F=	9.61201	DEN=	1169431.	D=	2.729909
F=	9.49737	DEN=	1149160.	D=	2.739909
F=	9.38475	DEN=	1129372.	D=	2.749909
F=	9.27204	DEN=	1110028.	D=	2.759909

TABELA B - Continuação

	FREQUÊNCIA	DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)
F=	0.504473	DEN=	1129372.
F=	0.402204	DEN=	1110028.
F=	0.401113	DEN=	1109123.
F=	0.321173	DEN=	1072645.
F=	0.242367	DEN=	1054505.
F=	0.104071	DEN=	1030928.
F=	0.068067	DEN=	1019606.
F=	0.012533	DEN=	1002788.
F=	8.038057	DEN=	066282.4
F=	8.864012	DEN=	070140.0
F=	8.792183	DEN=	054351.0
F=	8.720752	DEN=	038407.3
F=	8.650300	DEN=	023708.7
F=	8.500012	DEN=	000010.4
F=	8.512260	DEN=	844551.9
F=	8.444054	DEN=	880307.3
F=	8.377453	DEN=	806544.4
F=	8.312140	DEN=	852983.4
F=	8.247220	DEN=	839713.1
F=	8.103170	DEN=	826719.3
F=	8.110960	DEN=	813906.1
F=	8.057390	DEN=	801541.9
F=	7.946053	DEN=	700344.1
F=	7.935310	DEN=	773308.1
F=	7.875374	DEN=	705007.9
F=	7.816212	DEN=	754230.0
7 + SAITU			
F=	196.1944	DEN=	4.7521267F+00
F=	187.4387	DEN=	4.3374422F+00
F=	170.3252	DEN=	3.9700053F+00
F=	171.7940	DEN=	3.0436349F+00
F=	104.7943	DEN=	3.3527363F+00
F=	158.2760	DEN=	3.0927523F+00
F=	137.1967	DEN=	2.0597341F+00
F=	146.5175	DEN=	2.0502930F+00
F=	141.2033	DEN=	2.4615283F+00
F=	136.2223	DEN=	2.2000352F+00
F=	131.5460	DEN=	2.1303570F+00
F=	127.1407	DEN=	1.9050300F+00
F=	123.0080	DEN=	1.0660370F+00
F=	110.1022	DEN=	1.7512765F+00
F=	115.4117	DEN=	1.0444227F+00
F=	111.0107	DEN=	1.3404234F+00
F=	108.6109	DEN=	1.4503363F+00
F=	105.4710	DEN=	1.3733494F+00
F=	107.4873	DEN=	1.2007470F+00
F=	09.04879	DEN=	1.2758901F+00
F=	06.94342	DEN=	1.1602502F+00
F=	04.36312	DEN=	1.0093087F+00
F=	01.00873	DEN=	1.0426390F+00
F=	89.34233	DEN=	9.0005584F+07
F=	87.28071	DEN=	9.4001370F+07
F=	85.12327	DEN=	0.9400050F+07

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R _o)	
F=	83.05200	DEN=	0.5156000F+07	D=	1.3000000
F=	81.06139	DEN=	0.1122824F+07	D=	1.3700000
F=	79.14836	DEN=	7.7339104F+07	D=	1.3800000
F=	77.50833	DEN=	7.3784920F+07	D=	1.3900000
F=	75.53700	DEN=	7.0442464F+07	D=	1.4000000
F=	73.03047	DEN=	6.7295552F+07	D=	1.4100000
F=	72.18512	DEN=	6.4329536F+07	D=	1.4200000
F=	70.59761	DEN=	6.1551148F+07	D=	1.4300000
F=	69.06487	DEN=	5.8888352F+07	D=	1.4400000
F=	67.58405	DEN=	5.6390160F+07	D=	1.4500000
F=	66.15240	DEN=	5.4026564F+07	D=	1.4600000
F=	64.76774	DEN=	5.1768400F+07	D=	1.4700000
F=	63.42753	DEN=	4.9607304F+07	D=	1.4800000
F=	62.12971	DEN=	4.7655576F+07	D=	1.4900000
F=	60.87233	DEN=	4.5746184F+07	D=	1.5000000
F=	59.05353	DEN=	4.3932044F+07	D=	1.5100000
F=	58.47150	DEN=	4.2208944F+07	D=	1.5200000
F=	57.52480	DEN=	4.0569020F+07	D=	1.5300000
F=	56.21104	DEN=	3.9009520F+07	D=	1.5400000
F=	55.13111	DEN=	3.7523940F+07	D=	1.5500000
F=	54.08132	DEN=	3.6108512F+07	D=	1.5600000
F=	53.06172	DEN=	3.4759180F+07	D=	1.5700000
F=	52.06461	DEN=	3.3472150F+07	D=	1.5800000
F=	51.10538	DEN=	3.2243956F+07	D=	1.5900000
F=	50.16747	DEN=	3.1071306F+07	D=	1.6000000
F=	49.25480	DEN=	2.9951140F+07	D=	1.6100000
F=	48.36665	DEN=	2.8880050F+07	D=	1.6200000
F=	48.05974	DEN=	2.8878164F+07	D=	1.6400000
F=	45.03939	DEN=	2.5941360F+07	D=	1.6499999
F=	45.04009	DEN=	2.59044568F+07	D=	1.6599999
F=	44.26110	DEN=	2.4165736F+07	D=	1.6699999
F=	43.50171	DEN=	2.3362946F+07	D=	1.6799999
F=	42.76124	DEN=	2.2574380F+07	D=	1.6899999
F=	42.03912	DEN=	2.1818368F+07	D=	1.6999999
F=	41.53469	DEN=	2.1093300F+07	D=	1.7099999
F=	40.64739	DEN=	2.0397062F+07	D=	1.7199999
F=	39.97060	DEN=	1.9730046F+07	D=	1.7299999
F=	39.52108	DEN=	1.9090916F+07	D=	1.7399999
F=	38.08284	DEN=	1.8473608F+07	D=	1.7499999
F=	38.05075	DEN=	1.7862328F+07	D=	1.7599999
F=	37.44925	DEN=	1.7314150F+07	D=	1.7699999
F=	38.05389	DEN=	1.6768070F+07	D=	1.7799999
F=	38.27225	DEN=	1.6242917F+07	D=	1.7899999
F=	35.70391	DEN=	1.5737804F+07	D=	1.7999999
F=	35.14046	DEN=	1.5252048F+07	D=	1.8099999
F=	34.60550	DEN=	1.4784521F+07	D=	1.8199999
F=	34.07484	DEN=	1.4334504F+07	D=	1.8299999
F=	35.55501	DEN=	1.3901220F+07	D=	1.8399999
F=	33.04845	DEN=	1.3483956F+07	D=	1.8499999
F=	32.55215	DEN=	1.3082008F+07	D=	1.8599999
F=	32.06067	DEN=	1.2694707F+07	D=	1.8699999
F=	31.59172	DEN=	1.2321443F+07	D=	1.8799999
F=	31.12701	DEN=	1.1961614F+07	D=	1.8899999
F=	30.67275	DEN=	1.1614055F+07	D=	1.8999999
F=	30.22710	DEN=	1.1280031F+07	D=	1.9099999
F=	29.79152	DEN=	1.0957221F+07	D=	1.9199999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	24.56503	DEN=	1.0645744E+07	D=	1.929904
F=	28.94746	DEN=	1.0345133E+07	D=	1.950904
F=	20.53055	DEN=	1.0054946E+07	D=	1.940904
F=	20.13015	DEN=	9774750.	D=	1.950904
F=	27.74505	DEN=	9504170.	D=	1.960904
F=	27.56177	DEN=	9242795.	D=	1.970904
F=	26.98540	DEN=	8990270.	D=	1.980904
F=	20.01064	DEN=	8740741.	D=	1.990904
F=	20.25524	DEN=	8510372.	D=	2.000904
F=	25.90117	DEN=	8282352.	D=	2.010904
F=	25.55404	DEN=	8061875.	D=	2.020904
F=	25.21384	DEN=	7848645.	D=	2.030904
F=	24.08038	DEN=	7642384.	D=	2.040904
F=	24.55334	DEN=	7442830.	D=	2.050904
F=	24.23270	DEN=	7249727.	D=	2.060904
F=	25.91830	DEN=	7062828.	D=	2.070904
F=	25.01005	DEN=	6881905.	D=	2.080904
F=	25.30762	DEN=	6706736.	D=	2.090904
F=	25.01007	DEN=	6537097.	D=	2.100904
F=	22.71905	DEN=	6372792.	D=	2.110904
F=	22.43443	DEN=	6213627.	D=	2.120904
F=	22.15428	DEN=	6059408.	D=	2.130904
F=	21.57937	DEN=	5909061.	D=	2.140904
F=	21.00457	DEN=	5765107.	D=	2.150904
F=	21.54478	DEN=	5624687.	D=	2.160904
F=	21.08487	DEN=	5486538.	D=	2.170904
F=	20.57972	DEN=	5350511.	D=	2.180904
F=	20.57924	DEN=	5228457.	D=	2.190904
F=	20.53530	DEN=	5104237.	D=	2.200904
F=	20.09182	DEN=	4985718.	D=	2.210904
F=	19.85468	DEN=	4866771.	D=	2.220904
F=	19.02174	DEN=	4753269.	D=	2.230904
F=	19.59506	DEN=	4645097.	D=	2.240904
F=	19.16834	DEN=	4536137.	D=	2.250904
F=	16.94768	DEN=	4432280.	D=	2.260904
F=	10.73086	DEN=	4331422.	D=	2.270904
F=	10.51784	DEN=	4235480.	D=	2.280904
F=	18.30852	DEN=	4138297.	D=	2.290904
F=	10.10284	DEN=	4045859.	D=	2.300904
F=	17.90071	DEN=	3955995.	D=	2.310904
F=	17.70200	DEN=	3868680.	D=	2.320904
F=	17.50681	DEN=	3783808.	D=	2.330904
F=	17.51488	DEN=	3701299.	D=	2.340904
F=	17.12621	DEN=	3621077.	D=	2.350904

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	17.17021	DEN=	3021077.	D=	2.350909
F=	10.94073	DEN=	3543007.	D=	2.360909
F=	10.75837	DEN=	3467197.	D=	2.370909
F=	10.57706	DEN=	3593399.	D=	2.380909
F=	10.40274	DEN=	3521602.	D=	2.390909
F=	10.22934	DEN=	3251747.	D=	2.400909
F=	10.05581	DEN=	3183770.	D=	2.410909
F=	13.09108	DEN=	3117612.	D=	2.420909
F=	13.72010	DEN=	3053215.	D=	2.430909
F=	13.56382	DEN=	2990524.	D=	2.440909
F=	13.40417	DEN=	2929406.	D=	2.450909
F=	13.24710	DEN=	2870048.	D=	2.460909
F=	13.09255	DEN=	2812103.	D=	2.470909
F=	14.94049	DEN=	2755780.	D=	2.480909
F=	14.79085	DEN=	2700855.	D=	2.490909
F=	14.64359	DEN=	2647343.	D=	2.500909
F=	14.49867	DEN=	2595201.	D=	2.510909
F=	14.35602	DEN=	2544307.	D=	2.520909
F=	14.21562	DEN=	2494801.	D=	2.530909
F=	14.07740	DEN=	2446585.	D=	2.540909
F=	13.94135	DEN=	2399521.	D=	2.550909
F=	13.80739	DEN=	2353632.	D=	2.560909
F=	13.67551	DEN=	2308885.	D=	2.570909
F=	13.54566	DEN=	2265245.	D=	2.580909
F=	13.41779	DEN=	2222660.	D=	2.590909
F=	13.29187	DEN=	2181158.	D=	2.600909
F=	13.16780	DEN=	2140640.	D=	2.610909
F=	13.04573	DEN=	2101123.	D=	2.620909
F=	12.92543	DEN=	2062553.	D=	2.630909
F=	12.80604	DEN=	2024910.	D=	2.640909
F=	12.68902	DEN=	1988168.	D=	2.650909
F=	12.57523	DEN=	1952302.	D=	2.660909
F=	12.46105	DEN=	1917286.	D=	2.670909
F=	12.35034	DEN=	1883096.	D=	2.680909
F=	12.24030	DEN=	1849710.	D=	2.690909
F=	12.13200	DEN=	1817103.	D=	2.700909
F=	12.02571	DEN=	1785256.	D=	2.710909
F=	11.91906	DEN=	1754146.	D=	2.720909
F=	11.81620	DEN=	1723754.	D=	2.730909
F=	11.71404	DEN=	1694058.	D=	2.740909
F=	11.61326	DEN=	1665041.	D=	2.750909
F=	11.51390	DEN=	1636684.	D=	2.760909
F=	11.41600	DEN=	1609008.	D=	2.770909
F=	11.31954	DEN=	1581877.	D=	2.780909
F=	11.22436	DEN=	1555343.	D=	2.790909
F=	11.13050	DEN=	1529500.	D=	2.800909
F=	11.03800	DEN=	1504102.	D=	2.810909
F=	10.94684	DEN=	1479424.	D=	2.820909
F=	10.85689	DEN=	1455210.	D=	2.830908
F=	10.76810	DEN=	1431528.	D=	2.840908
F=	10.68070	DEN=	1408301.	D=	2.850908
F=	10.59441	DEN=	1385698.	D=	2.860908
F=	10.50931	DEN=	1363525.	D=	2.870908
F=	10.42536	DEN=	1341828.	D=	2.880908

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA	DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)
------------	-----------	-----------------------------

F=	10.34255	DEN=	1320596.	D=	2.840908
F=	10.26085	DEN=	1299817.	D=	2.900498
F=	10.18026	DEN=	1279478.	D=	2.910498
F=	10.10075	DEN=	1259570.	D=	2.020998
F=	10.02230	DEN=	1240070.	D=	2.930498
F=	0.044880	DEN=	1220997.	D=	2.940498
F=	0.068302	DEN=	1202313.	D=	2.950498
F=	0.0793124	DEN=	1184016.	D=	2.960498
F=	0.0718739	DEN=	1166097.	D=	2.970498
F=	0.0645325	DEN=	1148547.	D=	2.980498
F=	0.0572666	DEN=	1131355.	D=	2.990498

4 * SAITU					
F=	226.5457	DEN=	0.330160UF+08	D=	1.100000
F=	216.4350	DEN=	3.7832563F+08	D=	1.110000
F=	207.0664	DEN=	5.2034205F+08	D=	1.120000
F=	198.3715	DEN=	4.8581708F+08	D=	1.130000
F=	190.2681	DEN=	4.4703149F+08	D=	1.140000
F=	182.7614	DEN=	4.1236698F+08	D=	1.150000
F=	175.7416	DEN=	3.8129786F+08	D=	1.160000
F=	169.1838	DEN=	3.53357248F+08	D=	1.170000
F=	163.0475	DEN=	3.2820370F+08	D=	1.180000
F=	157.2962	DEN=	3.0545802F+08	D=	1.190000
F=	151.8964	DEN=	2.8484766F+08	D=	1.200000
F=	146.8108	DEN=	2.6612406F+08	D=	1.210000
F=	142.0390	DEN=	2.4907170F+08	D=	1.220000
F=	137.5274	DEN=	2.3350354F+08	D=	1.230000
F=	133.2654	DEN=	2.1925693F+08	D=	1.240000
F=	129.2536	DEN=	2.0618970F+08	D=	1.250000
F=	125.4130	DEN=	1.9417810F+08	D=	1.260000
F=	121.7674	DEN=	1.8311325F+08	D=	1.270000
F=	118.3422	DEN=	1.7269960F+08	D=	1.280000
F=	115.0634	DEN=	1.6345322F+08	D=	1.290000
F=	111.9406	DEN=	1.5470002F+08	D=	1.300000
F=	109.0612	DEN=	1.4657450F+08	D=	1.310000
F=	106.3155	DEN=	1.3901061F+08	D=	1.320000
F=	103.7946	DEN=	1.3198078F+08	D=	1.330000
F=	100.7900	DEN=	1.2541517F+08	D=	1.340000
F=	98.29420	DEN=	1.1928087F+08	D=	1.350000
F=	95.90070	DEN=	1.1354134F+08	D=	1.360000
F=	93.60162	DEN=	1.0816376F+08	D=	1.370000
F=	91.39266	DEN=	1.0311680F+08	D=	1.380000
F=	89.26797	DEN=	9.8379896F+07	D=	1.390000
F=	87.22262	DEN=	9.3923288F+07	D=	1.400000
F=	85.25209	DEN=	8.9727400F+07	D=	1.410000
F=	83.35270	DEN=	8.5772712F+07	D=	1.420000
F=	81.51910	DEN=	8.2041526F+07	D=	1.430000
F=	79.74924	DEN=	7.8517800F+07	D=	1.440000
F=	78.03933	DEN=	7.5186688F+07	D=	1.450000
F=	76.38631	DEN=	7.2035416F+07	D=	1.460000
F=	74.78735	DEN=	6.9051200F+07	D=	1.470000
F=	73.23980	DEN=	6.6223072F+07	D=	1.480000
F=	71.74121	DEN=	6.3540768F+07	D=	1.490000
F=	70.28931	DEN=	6.0994912F+07	D=	1.500000
F=	68.88107	DEN=	5.8576856F+07	D=	1.510000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R _⊙)	
F=	67.51717	DEN=	5.6278010F+07	D=	1.520000
F=	66.19304	DEN=	5.4092628F+07	D=	1.530000
F=	64.90784	DEN=	5.2012002F+07	D=	1.540000
F=	63.65402	DEN=	5.0031920F+07	D=	1.550000
F=	62.44773	DEN=	4.8144080F+07	D=	1.560000
F=	61.26482	DEN=	4.6345572F+07	D=	1.570000
F=	60.12481	DEN=	4.4620540F+07	D=	1.580000
F=	59.01141	DEN=	4.2991940F+07	D=	1.590000
F=	57.92841	DEN=	4.1428408F+07	D=	1.600000
F=	56.87463	DEN=	3.9934864F+07	D=	1.610000
F=	55.84099	DEN=	3.8507532F+07	D=	1.620000
F=	54.82504	DEN=	3.7142860F+07	D=	1.630000
F=	53.82702	DEN=	3.5837552F+07	D=	1.640000
F=	52.84307	DEN=	3.4584800F+07	D=	1.640000
F=	52.87072	DEN=	3.3392750F+07	D=	1.650000
F=	51.90831	DEN=	3.2247050F+07	D=	1.660000
F=	50.95164	DEN=	3.1150504F+07	D=	1.670000
F=	49.99763	DEN=	3.0099182F+07	D=	1.680000
F=	48.94259	DEN=	2.9091150F+07	D=	1.690000
F=	47.77919	DEN=	2.8124400F+07	D=	1.700000
F=	46.53557	DEN=	2.7196882F+07	D=	1.710000
F=	45.21107	DEN=	2.6306720F+07	D=	1.720000
F=	43.80312	DEN=	2.5452150F+07	D=	1.730000
F=	42.31671	DEN=	2.4631470F+07	D=	1.740000
F=	40.74640	DEN=	2.3843104F+07	D=	1.750000
F=	39.09260	DEN=	2.3080534F+07	D=	1.760000
F=	37.35521	DEN=	2.2352360F+07	D=	1.770000
F=	35.53354	DEN=	2.1657222F+07	D=	1.780000
F=	33.62733	DEN=	2.0983850F+07	D=	1.790000
F=	31.53597	DEN=	2.0336064F+07	D=	1.800000
F=	29.25900	DEN=	1.9712004F+07	D=	1.810000
F=	26.79624	DEN=	1.9112072F+07	D=	1.820000
F=	24.17035	DEN=	1.8534968F+07	D=	1.830000
F=	21.31107	DEN=	1.7978008F+07	D=	1.840000
F=	18.15870	DEN=	1.7442074F+07	D=	1.850000
F=	14.72740	DEN=	1.6926270F+07	D=	1.860000
F=	11.02808	DEN=	1.6428501F+07	D=	1.870000
F=	7.04237	DEN=	1.5948819F+07	D=	1.880000
F=	2.71727	DEN=	1.5486207F+07	D=	1.890000
F=	0.03334	DEN=	1.5040041F+07	D=	1.900000
F=	0.40029	DEN=	1.4609628F+07	D=	1.910000
F=	0.90782	DEN=	1.4194325F+07	D=	1.920000
F=	1.42360	DEN=	1.3793511F+07	D=	1.930000
F=	1.95351	DEN=	1.3406594F+07	D=	1.940000
F=	2.49113	DEN=	1.3033012F+07	D=	1.950000
F=	3.03826	DEN=	1.2672220F+07	D=	1.960000
F=	3.59463	DEN=	1.2323727F+07	D=	1.970000
F=	4.16000	DEN=	1.1987027F+07	D=	1.980000
F=	4.73423	DEN=	1.1661654F+07	D=	1.990000
F=	5.31609	DEN=	1.1347162F+07	D=	2.000000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	29.90809	DEN=	1.1043136E+07	D=	2.010999
F=	29.50733	DEN=	1.0749168E+07	D=	2.020999
F=	29.11449	DEN=	1.0464859E+07	D=	2.030999
F=	28.72939	DEN=	1.0180848E+07	D=	2.040999
F=	28.35182	DEN=	9923773.	D=	2.050999
F=	27.98161	DEN=	9660302.	D=	2.060999
F=	27.61857	DEN=	9417104.	D=	2.070999
F=	27.26253	DEN=	9175873.	D=	2.080999
F=	26.91333	DEN=	8942311.	D=	2.090999
F=	26.57078	DEN=	8716129.	D=	2.100999
F=	26.23474	DEN=	8497056.	D=	2.110999
F=	25.90505	DEN=	8284836.	D=	2.120999
F=	25.58150	DEN=	8079211.	D=	2.130999
F=	25.26412	DEN=	7879948.	D=	2.140999
F=	24.95259	DEN=	7686800.	D=	2.150999
F=	24.64683	DEN=	7499582.	D=	2.160999
F=	24.34670	DEN=	7318051.	D=	2.170999
F=	24.05209	DEN=	7142014.	D=	2.180999
F=	23.76285	DEN=	6971275.	D=	2.190999
F=	23.47887	DEN=	6805640.	D=	2.200999
F=	23.20003	DEN=	6644938.	D=	2.210999
F=	22.92621	DEN=	6489028.	D=	2.220999
F=	22.65730	DEN=	6337692.	D=	2.230999
F=	22.39310	DEN=	6190795.	D=	2.240999
F=	22.13375	DEN=	6048182.	D=	2.250999
F=	21.87890	DEN=	5909707.	D=	2.260999
F=	21.62853	DEN=	5775220.	D=	2.270999
F=	21.38253	DEN=	5644613.	D=	2.280999
F=	21.14080	DEN=	5517730.	D=	2.290999
F=	20.90330	DEN=	5394452.	D=	2.300999
F=	20.66990	DEN=	5274600.	D=	2.310999
F=	20.44058	DEN=	5158240.	D=	2.320999
F=	20.21512	DEN=	5045077.	D=	2.330999
F=	19.99351	DEN=	4935006.	D=	2.340999
F=	19.77563	DEN=	4828103.	D=	2.350999
F=	19.56147	DEN=	4724409.	D=	2.360999
F=	19.35090	DEN=	4622920.	D=	2.370999
F=	19.14393	DEN=	4524530.	D=	2.380999
F=	18.94025	DEN=	4428083.	D=	2.390999
F=	18.74003	DEN=	4333603.	D=	2.400999
F=	18.54312	DEN=	4241027.	D=	2.410999
F=	18.34944	DEN=	4150816.	D=	2.420999
F=	18.15894	DEN=	4070953.	D=	2.430999
F=	17.97153	DEN=	3987306.	D=	2.440999
F=	17.78720	DEN=	3905901.	D=	2.450999
F=	17.60583	DEN=	3826731.	D=	2.460999
F=	17.42738	DEN=	3749530.	D=	2.470999
F=	17.25179	DEN=	3674373.	D=	2.480999
F=	17.07900	DEN=	3601140.	D=	2.490999
F=	16.90890	DEN=	3529791.	D=	2.500999
F=	16.74162	DEN=	3460268.	D=	2.510999
F=	16.57690	DEN=	3392516.	D=	2.520999
F=	16.41476	DEN=	3326461.	D=	2.530999
F=	16.25519	DEN=	3262113.	D=	2.540999
F=	16.09806	DEN=	3199301.	D=	2.550999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)		
5 * SAITU					
F=	253.2658	DEN=	7.9207112E+08	D=	1.100000
F=	241.9824	DEN=	7.2790707E+08	D=	1.110000
F=	231.5078	DEN=	6.6167757E+08	D=	1.120000
F=	221.7861	DEN=	6.0727251E+08	D=	1.130000
F=	212.7485	DEN=	5.5878938E+08	D=	1.140000
F=	204.3334	DEN=	5.1545872E+08	D=	1.150000
F=	196.4651	DEN=	4.7662234E+08	D=	1.160000
F=	188.1533	DEN=	4.4171562E+08	D=	1.170000
F=	182.2927	DEN=	4.1025472E+08	D=	1.180000
F=	175.8625	DEN=	3.8162253E+08	D=	1.190000
F=	169.8259	DEN=	3.5605962E+08	D=	1.200000
F=	164.1495	DEN=	3.326507E+08	D=	1.210000
F=	158.8034	DEN=	3.1133962E+08	D=	1.220000
F=	153.7603	DEN=	2.9187942E+08	D=	1.230000
F=	148.9958	DEN=	2.7407117E+08	D=	1.240000
F=	144.4878	DEN=	2.5773722E+08	D=	1.250000
F=	140.2160	DEN=	2.4272272E+08	D=	1.260000
F=	136.1625	DEN=	2.2889157E+08	D=	1.270000
F=	132.3105	DEN=	2.1612450E+08	D=	1.280000
F=	128.6454	DEN=	2.0451653E+08	D=	1.290000
F=	125.1534	DEN=	1.9337502E+08	D=	1.300000
F=	121.8223	DEN=	1.8321813E+08	D=	1.310000
F=	118.6408	DEN=	1.7377326E+08	D=	1.320000
F=	115.5987	DEN=	1.6497597E+08	D=	1.330000
F=	112.6867	DEN=	1.5676896E+08	D=	1.340000
F=	109.8963	DEN=	1.4910109E+08	D=	1.350000
F=	107.2107	DEN=	1.4192667E+08	D=	1.360000
F=	104.6498	DEN=	1.3520470E+08	D=	1.370000
F=	102.1601	DEN=	1.2896965E+08	D=	1.380000
F=	99.80463	DEN=	1.2327487E+08	D=	1.390000
F=	97.51785	DEN=	1.1740411E+08	D=	1.400000
F=	95.31474	DEN=	1.1215925E+08	D=	1.410000
F=	93.19059	DEN=	1.0721389E+08	D=	1.420000
F=	91.14112	DEN=	1.0255191E+08	D=	1.430000
F=	89.16236	DEN=	9.8147248E+07	D=	1.440000
F=	87.25063	DEN=	9.3963606E+07	D=	1.450000
F=	85.40249	DEN=	9.0044272E+07	D=	1.460000
F=	83.61479	DEN=	8.6314000E+07	D=	1.470000
F=	81.88459	DEN=	8.2778840E+07	D=	1.480000
F=	80.20911	DEN=	7.9425960E+07	D=	1.490000
F=	78.58585	DEN=	7.6243640E+07	D=	1.500000
F=	77.01238	DEN=	7.3221072E+07	D=	1.510000
F=	75.48049	DEN=	7.0348272E+07	D=	1.520000
F=	74.00607	DEN=	6.7616032E+07	D=	1.530000
F=	72.56918	DEN=	6.5015864E+07	D=	1.540000
F=	71.17395	DEN=	6.2539900E+07	D=	1.550000
F=	69.81866	DEN=	6.0180852E+07	D=	1.560000
F=	68.50175	DEN=	5.7931964E+07	D=	1.570000
F=	67.22156	DEN=	5.5786924E+07	D=	1.580000
F=	65.97677	DEN=	5.3739924E+07	D=	1.590000
F=	64.76504	DEN=	5.1785512E+07	D=	1.600000
F=	63.58777	DEN=	4.9918581E+07	D=	1.610000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R _o)	
F=	68.51175	DEN=	5.7951964F+07	D=	1.570000
F=	67.22150	DEN=	5.5706924F+07	D=	1.580000
F=	65.97077	DEN=	5.3739924F+07	D=	1.590000
F=	64.76504	DEN=	5.1705512F+07	D=	1.600000
F=	63.58777	DEN=	4.9918580F+07	D=	1.610000
F=	62.44107	DEN=	4.8134410F+07	D=	1.620000
F=	61.32460	DEN=	4.6428570F+07	D=	1.630000
F=	60.23730	DEN=	4.4796940F+07	D=	1.640000
F=	59.17040	DEN=	4.3235600F+07	D=	1.649999
F=	58.14051	DEN=	4.1740944F+07	D=	1.659999
F=	57.14083	DEN=	4.0309544F+07	D=	1.669999
F=	56.16047	DEN=	3.8938244F+07	D=	1.679999
F=	55.20454	DEN=	3.7623976F+07	D=	1.689999
F=	54.27227	DEN=	3.6303948F+07	D=	1.699999
F=	53.36287	DEN=	3.5155500F+07	D=	1.709999
F=	52.47550	DEN=	3.3996104F+07	D=	1.719999
F=	51.60965	DEN=	3.2883410F+07	D=	1.729999
F=	50.76446	DEN=	3.1815196F+07	D=	1.739999
F=	49.93933	DEN=	3.0789340F+07	D=	1.749999
F=	49.13364	DEN=	2.9803880F+07	D=	1.759999
F=	48.34077	DEN=	2.8856918F+07	D=	1.769999
F=	47.57017	DEN=	2.7946700F+07	D=	1.779999
F=	46.82727	DEN=	2.7071528F+07	D=	1.789999
F=	46.10935	DEN=	2.6229822F+07	D=	1.799999
F=	45.37050	DEN=	2.5420080F+07	D=	1.809999
F=	44.60751	DEN=	2.4640868F+07	D=	1.819999
F=	43.90043	DEN=	2.3890840F+07	D=	1.829999
F=	43.22050	DEN=	2.3168710F+07	D=	1.839999
F=	42.66537	DEN=	2.2473260F+07	D=	1.849999
F=	42.12464	DEN=	2.1803342F+07	D=	1.859999
F=	41.59789	DEN=	2.1157040F+07	D=	1.869999
F=	40.78474	DEN=	2.0535730F+07	D=	1.879999
F=	40.18480	DEN=	1.9936074F+07	D=	1.889999
F=	39.59771	DEN=	1.9357750F+07	D=	1.899999
F=	39.02312	DEN=	1.8800052F+07	D=	1.909999
F=	38.46069	DEN=	1.82702030F+07	D=	1.919999
F=	37.91010	DEN=	1.7742906F+07	D=	1.929999
F=	37.37102	DEN=	1.7241088F+07	D=	1.939999
F=	36.84315	DEN=	1.67558243F+07	D=	1.949999
F=	36.32019	DEN=	1.6291263F+07	D=	1.959999
F=	35.81487	DEN=	1.5840283F+07	D=	1.969999
F=	35.32389	DEN=	1.5404059F+07	D=	1.979999
F=	34.83600	DEN=	1.4983784F+07	D=	1.989999
F=	34.36103	DEN=	1.4577060F+07	D=	1.999999
F=	33.89543	DEN=	1.4183953F+07	D=	2.009999
F=	33.43826	DEN=	1.3803920F+07	D=	2.019999
F=	32.99020	DEN=	1.3436450F+07	D=	2.029999
F=	32.55099	DEN=	1.3081074F+07	D=	2.039999
F=	32.11703	DEN=	1.2737310F+07	D=	2.049999
F=	31.60630	DEN=	1.2404710F+07	D=	2.059999
F=	31.28439	DEN=	1.2082878F+07	D=	2.069999
F=	30.87850	DEN=	1.1771380F+07	D=	2.079999
F=	30.48044	DEN=	1.1469041F+07	D=	2.089999
F=	30.09001	DEN=	1.1177889F+07	D=	2.099999
F=	29.70704	DEN=	1.0895161F+07	D=	2.109999
F=	29.33133	DEN=	1.0621320F+07	D=	2.119999
F=	28.96273	DEN=	1.0356044F+07	D=	2.129999
F=	28.60105	DEN=	1.0099013F+07	D=	2.139999
F=	28.24614	DEN=	9849934.	D=	2.149999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	27.09784	DEN=	0000511.	R=	2.150999
F=	27.55509	DEN=	0374478.	R=	2.160999
F=	27.22044	DEN=	0147503.	R=	2.179999
F=	26.89106	DEN=	8427518.	R=	2.180999
F=	26.56768	DEN=	8714094.	R=	2.190999
F=	26.25018	DEN=	8507061.	R=	2.200999
F=	25.93843	DEN=	8300197.	R=	2.210999
F=	25.63226	DEN=	8111285.	R=	2.220999
F=	25.33165	DEN=	7922115.	R=	2.230999
F=	25.03633	DEN=	7738494.	R=	2.240999
F=	24.74028	DEN=	7560228.	R=	2.250999
F=	24.46135	DEN=	7387133.	R=	2.260999
F=	24.18143	DEN=	7219036.	R=	2.270999
F=	23.90642	DEN=	7055707.	R=	2.280999
F=	23.63620	DEN=	6897162.	R=	2.290999
F=	23.37067	DEN=	6743065.	R=	2.300999
F=	23.10972	DEN=	6593325.	R=	2.310999
F=	22.85326	DEN=	6447800.	R=	2.320999
F=	22.60119	DEN=	6306346.	R=	2.330999
F=	22.35342	DEN=	6168832.	R=	2.340999
F=	22.10985	DEN=	6035129.	R=	2.350999
F=	21.87034	DEN=	5905112.	R=	2.360999
F=	21.63406	DEN=	5778662.	R=	2.370999
F=	21.40047	DEN=	5655663.	R=	2.380999
F=	21.17584	DEN=	5536004.	R=	2.390999
F=	20.95104	DEN=	5419579.	R=	2.400999
F=	20.73183	DEN=	5306283.	R=	2.410999
F=	21.40047	DEN=	5655663.	R=	2.380999
F=	21.17584	DEN=	5536004.	R=	2.390999
F=	20.95104	DEN=	5419579.	R=	2.400999
F=	20.73183	DEN=	5306283.	R=	2.410999
F=	20.51530	DEN=	5196020.	R=	2.420999
F=	20.30231	DEN=	5088641.	R=	2.430999
F=	20.09280	DEN=	4984207.	R=	2.440999
F=	19.88664	DEN=	4882477.	R=	2.450999
F=	19.68302	DEN=	4783414.	R=	2.460999
F=	19.48140	DEN=	4686958.	R=	2.470999
F=	19.28209	DEN=	4592967.	R=	2.480999
F=	19.08490	DEN=	4501425.	R=	2.490999
F=	18.89048	DEN=	4412239.	R=	2.500999
F=	18.70770	DEN=	4325336.	R=	2.510999
F=	18.53354	DEN=	4240645.	R=	2.520999
F=	18.35228	DEN=	4158102.	R=	2.530999
F=	18.17395	DEN=	4077641.	R=	2.540999
F=	17.99820	DEN=	3999201.	R=	2.550999
F=	17.82527	DEN=	3922720.	R=	2.560999
F=	17.65501	DEN=	3848141.	R=	2.570999
F=	17.48737	DEN=	3775408.	R=	2.580999
F=	17.32229	DEN=	3704406.	R=	2.590999
F=	17.15973	DEN=	3635203.	R=	2.600999
F=	16.99963	DEN=	3567748.	R=	2.610999
F=	16.84106	DEN=	3501872.	R=	2.620999
F=	16.68660	DEN=	3437588.	R=	2.630999
F=	16.53364	DEN=	3374850.	R=	2.640999
F=	16.38300	DEN=	3313614.	R=	2.650999
F=	16.23455	DEN=	3253836.	R=	2.660999
F=	16.08830	DEN=	3195476.	R=	2.670999
F=	15.94421	DEN=	3138494.	R=	2.680999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	15.80224	DEN=	3082850.	P=	2.690909
F=	15.06234	DEN=	3028505.	P=	2.700909
F=	15.52448	DEN=	2975427.	P=	2.710909
F=	15.38662	DEN=	2923577.	P=	2.720909
F=	15.25473	DEN=	2872023.	P=	2.730909
F=	15.12276	DEN=	2823430.	P=	2.740909
F=	14.99268	DEN=	2775060.	P=	2.750909
F=	14.86440	DEN=	2727806.	P=	2.760909
F=	14.73807	DEN=	2681613.	P=	2.770909
F=	14.61346	DEN=	2636401.	P=	2.780909
F=	14.49042	DEN=	2592321.	P=	2.790909
F=	14.36950	DEN=	2549166.	P=	2.800909
F=	14.25007	DEN=	2506069.	P=	2.810909
F=	14.13231	DEN=	2465706.	P=	2.820908
F=	14.01610	DEN=	2427350.	P=	2.830908
F=	13.90160	DEN=	2385800.	P=	2.840908
F=	13.78872	DEN=	2347209.	P=	2.850908
F=	13.67733	DEN=	2309447.	P=	2.860908
F=	13.56745	DEN=	2272541.	P=	2.870908
F=	13.45908	DEN=	2236380.	P=	2.880908
F=	13.35217	DEN=	2200993.	P=	2.890908
F=	13.24671	DEN=	2166301.	P=	2.900908
F=	13.14260	DEN=	2132404.	P=	2.910908
F=	13.04001	DEN=	2099283.	P=	2.920908
F=	12.93873	DEN=	2066790.	P=	2.930908
F=	12.83879	DEN=	2034095.	P=	2.940908
F=	12.74018	DEN=	2003855.	P=	2.950908
F=	12.64287	DEN=	1973300.	P=	2.960908
F=	12.54684	DEN=	1943495.	P=	2.970908
F=	12.45200	DEN=	1914245.	P=	2.980908
F=	12.35852	DEN=	1885592.	P=	2.990908
A * SALTU					
F=	277.4607	DEN=	9.5042534F+00	P=	1.100000
F=	265.0784	DEN=	8.6748845F+00	P=	1.110000
F=	253.6041	DEN=	7.9401300F+00	P=	1.120000
F=	242.0545	DEN=	7.2872698F+00	P=	1.130000
F=	233.0543	DEN=	6.7054720F+00	P=	1.140000
F=	223.8361	DEN=	6.1855040F+00	P=	1.150000
F=	215.2387	DEN=	5.7194682F+00	P=	1.160000
F=	207.2070	DEN=	5.3005072F+00	P=	1.170000
F=	199.6917	DEN=	4.9230566F+00	P=	1.180000
F=	192.6477	DEN=	4.5818704F+00	P=	1.190000
F=	186.0349	DEN=	4.2727152F+00	P=	1.200000
F=	179.8168	DEN=	3.9918611F+00	P=	1.210000
F=	173.9604	DEN=	3.7300755F+00	P=	1.220000
F=	168.4360	DEN=	3.5025530F+00	P=	1.230000
F=	163.2168	DEN=	3.2888541F+00	P=	1.240000
F=	158.2784	DEN=	3.0928467F+00	P=	1.250000
F=	153.5900	DEN=	2.9126720F+00	P=	1.260000
F=	149.1585	DEN=	2.7466989F+00	P=	1.270000
F=	144.9389	DEN=	2.5934941F+00	P=	1.280000
F=	140.9240	DEN=	2.4517982F+00	P=	1.290000
F=	137.0987	DEN=	2.3205003F+00	P=	1.300000
F=	133.2590	DEN=	2.1986174F+00	P=	1.310000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)		
F=	186.0369	DEN=	4.2727152E+08	D=	1.200000
F=	179.8168	DEN=	3.9018011E+08	D=	1.210000
F=	173.9604	DEN=	3.7300755E+08	D=	1.220000
F=	168.4360	DEN=	3.5025530E+08	D=	1.230000
F=	163.2168	DEN=	3.2888541E+08	D=	1.240000
F=	158.2784	DEN=	3.0928467E+08	D=	1.250000
F=	153.5900	DEN=	2.9126720E+08	D=	1.260000
F=	148.1585	DEN=	2.7406989E+08	D=	1.270000
F=	144.9389	DEN=	2.5934941E+08	D=	1.280000
F=	140.9240	DEN=	2.4517982E+08	D=	1.290000
F=	137.0987	DEN=	2.3205003E+08	D=	1.300000
F=	133.4400	DEN=	2.1966174E+08	D=	1.310000
F=	129.9645	DEN=	2.0852792E+08	D=	1.320000
F=	126.6320	DEN=	1.9797117E+08	D=	1.330000
F=	123.4421	DEN=	1.8812275E+08	D=	1.340000
F=	120.3053	DEN=	1.7892131E+08	D=	1.350000
F=	117.4533	DEN=	1.7031200E+08	D=	1.360000
F=	114.6381	DEN=	1.6224565E+08	D=	1.370000
F=	111.9377	DEN=	1.5467021E+08	D=	1.380000
F=	109.3305	DEN=	1.4756984E+08	D=	1.390000
F=	106.8255	DEN=	1.4088493E+08	D=	1.400000
F=	104.4121	DEN=	1.3459110E+08	D=	1.410000
F=	102.0852	DEN=	1.2865907E+08	D=	1.420000
F=	99.84010	DEN=	1.2306230E+08	D=	1.430000
F=	97.67240	DEN=	1.1777070E+08	D=	1.440000
F=	95.57027	DEN=	1.1278034E+08	D=	1.450000
F=	93.53374	DEN=	1.0805313E+08	D=	1.460000
F=	91.50541	DEN=	1.0357080E+08	D=	1.470000
F=	89.70007	DEN=	9.9334008E+07	D=	1.480000
F=	87.86469	DEN=	9.5311152E+07	D=	1.490000
F=	86.08047	DEN=	9.1492360E+07	D=	1.500000
F=	84.36283	DEN=	8.7865280E+07	D=	1.510000
F=	82.00130	DEN=	8.4417970E+07	D=	1.520000
F=	81.06959	DEN=	8.1139240E+07	D=	1.530000
F=	79.49554	DEN=	7.8019040E+07	D=	1.540000
F=	77.96710	DEN=	7.5047080E+07	D=	1.550000
F=	76.48254	DEN=	7.2217024E+07	D=	1.560000
F=	75.03989	DEN=	6.9518360E+07	D=	1.570000
F=	73.63755	DEN=	6.6944312E+07	D=	1.580000
F=	72.27393	DEN=	6.4487912E+07	D=	1.590000
F=	70.94753	DEN=	6.2142012E+07	D=	1.600000
F=	69.65001	DEN=	5.9902290E+07	D=	1.610000
F=	68.40070	DEN=	5.7701300E+07	D=	1.620000
F=	67.17780	DEN=	5.5714292E+07	D=	1.630000
F=	65.98083	DEN=	5.3756328E+07	D=	1.640000
F=	64.82069	DEN=	5.1862720E+07	D=	1.649999
F=	63.690631	DEN=	5.0009130E+07	D=	1.659999
F=	62.59464	DEN=	4.8371470E+07	D=	1.669999
F=	61.52070	DEN=	4.6872580E+07	D=	1.679999
F=	60.47355	DEN=	4.548772E+07	D=	1.689999
F=	59.45229	DEN=	4.43636730E+07	D=	1.699999
F=	58.45009	DEN=	4.32186000E+07	D=	1.709999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R _⊙)	
F=	57.48409	DEN=	4.0795374E+07	R=	1.719999
F=	56.53554	DEN=	3.9460092E+07	R=	1.729999
F=	55.60968	DEN=	3.6178236E+07	R=	1.739999
F=	54.70580	DEN=	3.6947216E+07	R=	1.749999
F=	53.82320	DEN=	3.5764656E+07	R=	1.759999
F=	52.96123	DEN=	3.4628300E+07	R=	1.769999
F=	52.11927	DEN=	3.3536404E+07	R=	1.779999
F=	51.290671	DEN=	3.2485834E+07	R=	1.789999
F=	50.48205	DEN=	3.1475786E+07	R=	1.799999
F=	49.70740	DEN=	3.0504096E+07	R=	1.809999
F=	48.93968	DEN=	2.9569042E+07	R=	1.819999
F=	48.18910	DEN=	2.8669008E+07	R=	1.829999
F=	47.45523	DEN=	2.7802452E+07	R=	1.839999
F=	46.73758	DEN=	2.6967912E+07	R=	1.849999
F=	46.03569	DEN=	2.6164012E+07	R=	1.859999
F=	45.34912	DEN=	2.5389414E+07	R=	1.869999
F=	44.67744	DEN=	2.4642886E+07	R=	1.879999
F=	44.02024	DEN=	2.3923228E+07	R=	1.889999
F=	43.37712	DEN=	2.3229310E+07	R=	1.899999
F=	42.74769	DEN=	2.2560062E+07	R=	1.909999
F=	42.13157	DEN=	2.1914442E+07	R=	1.919999
F=	41.52843	DEN=	2.1291486E+07	R=	1.929999
F=	40.93790	DEN=	2.0690266E+07	R=	1.939999
F=	40.35965	DEN=	2.0110989E+07	R=	1.949999
F=	39.79335	DEN=	1.9549516E+07	R=	1.959999
F=	39.23870	DEN=	1.9008334E+07	R=	1.969999
F=	38.69538	DEN=	1.8485590E+07	R=	1.979999
F=	38.16312	DEN=	1.7980540E+07	R=	1.989999
F=	37.64161	DEN=	1.7492482E+07	R=	1.999999
F=	37.13058	DEN=	1.7020744E+07	R=	2.009999
F=	36.62978	DEN=	1.6564704E+07	R=	2.019999
F=	36.13895	DEN=	1.6123749E+07	R=	2.029999
F=	35.65782	DEN=	1.5697289E+07	R=	2.039999
F=	35.18617	DEN=	1.5284772E+07	R=	2.049999
F=	34.72374	DEN=	1.4885660E+07	R=	2.059999
F=	34.27035	DEN=	1.4499453E+07	R=	2.069999
F=	33.82570	DEN=	1.4125656E+07	R=	2.079999
F=	33.38965	DEN=	1.3763810E+07	R=	2.089999
F=	32.96190	DEN=	1.3413467E+07	R=	2.099999
F=	32.54243	DEN=	1.3074194E+07	R=	2.109999
F=	32.13086	DEN=	1.2745584E+07	R=	2.119999
F=	31.72700	DEN=	1.2427253E+07	R=	2.129999
F=	31.33086	DEN=	1.2118816E+07	R=	2.139999
F=	30.94210	DEN=	1.1819921E+07	R=	2.149999
F=	30.56055	DEN=	1.1530213E+07	R=	2.159999
F=	30.18008	DEN=	1.1249373E+07	R=	2.169999
F=	29.81850	DEN=	1.0977076E+07	R=	2.179999
F=	29.45768	DEN=	1.0713021E+07	R=	2.189999
F=	29.10343	DEN=	1.0456913E+07	R=	2.199999
F=	28.75563	DEN=	1.0208473E+07	R=	2.209999
F=	28.41412	DEN=	9967436.	R=	2.219999
F=	28.07676	DEN=	9733541.	R=	2.229999
F=	27.74940	DEN=	9506538.	R=	2.239999
F=	27.42503	DEN=	9286193.	R=	2.249999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	27.10819	DEN=	90722773.	D=	2.250909
F=	26.70607	DEN=	8864560.	D=	2.260909
F=	26.48944	DEN=	8662843.	D=	2.270909
F=	26.18818	DEN=	8460920.	D=	2.280909
F=	25.89216	DEN=	8270545.	D=	2.290909
F=	25.60129	DEN=	8091678.	D=	2.300909
F=	25.31543	DEN=	7911090.	D=	2.310909
F=	25.03450	DEN=	7737300.	D=	2.320909
F=	24.75837	DEN=	7567615.	D=	2.330909
F=	24.48694	DEN=	7402590.	D=	2.340909
F=	24.22013	DEN=	7242155.	D=	2.350909
F=	23.95782	DEN=	7086135.	D=	2.360909
F=	23.69901	DEN=	6934394.	D=	2.370909
F=	23.44633	DEN=	6786795.	D=	2.380909
F=	23.19697	DEN=	6643205.	D=	2.390909
F=	22.95170	DEN=	6503495.	D=	2.400909
F=	22.71058	DEN=	6367540.	D=	2.410909
F=	22.47338	DEN=	6235224.	D=	2.420909
F=	22.24007	DEN=	6106420.	D=	2.430909
F=	22.01050	DEN=	5981040.	D=	2.440909
F=	21.78470	DEN=	5858977.	D=	2.450909
F=	21.56265	DEN=	5740097.	D=	2.460909
F=	21.34410	DEN=	5624326.	D=	2.470909
F=	21.12904	DEN=	5511560.	D=	2.480909
F=	20.91742	DEN=	5401710.	D=	2.490909
F=	20.70917	DEN=	5294686.	D=	2.500909
F=	20.50421	DEN=	5190403.	D=	2.510909
F=	20.30246	DEN=	5088774.	D=	2.520909
F=	20.10392	DEN=	4989727.	D=	2.530909
F=	19.90846	DEN=	4893169.	D=	2.540909
F=	19.71604	DEN=	4799041.	D=	2.550909
F=	19.52660	DEN=	4707264.	D=	2.560909
F=	19.34004	DEN=	4617760.	D=	2.570909
F=	19.15645	DEN=	4530490.	D=	2.580909
F=	18.97562	DEN=	4445359.	D=	2.590909
F=	18.79754	DEN=	4362315.	D=	2.600909
F=	18.62217	DEN=	4281298.	D=	2.610909
F=	18.44944	DEN=	4202246.	D=	2.620909
F=	18.27932	DEN=	4125106.	D=	2.630909
F=	18.11175	DEN=	4049820.	D=	2.640909
F=	17.94668	DEN=	3976336.	D=	2.650909
F=	17.78400	DEN=	3904604.	D=	2.660909
F=	17.62386	DEN=	3834577.	D=	2.670909
F=	17.46601	DEN=	3766192.	D=	2.680909
F=	17.31049	DEN=	3699410.	D=	2.690909
F=	17.15723	DEN=	3634207.	D=	2.700909
F=	17.00622	DEN=	3570512.	D=	2.710909
F=	16.85739	DEN=	3508293.	D=	2.720909
F=	16.71072	DEN=	3447507.	D=	2.730909
F=	16.56615	DEN=	3388117.	D=	2.740909
F=	16.42366	DEN=	3330083.	D=	2.750909
F=	16.28321	DEN=	3273368.	D=	2.760909

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	10.14474	DEN=	3217936.	P=	2.779999
F=	16.00625	DEN=	3163754.	P=	2.769999
F=	15.87368	DEN=	3110785.	P=	2.799999
F=	15.74099	DEN=	3058999.	P=	2.909999
F=	15.61017	DEN=	3008363.	P=	2.819999
F=	15.48117	DEN=	2958847.	P=	2.829998
F=	15.35300	DEN=	2910420.	P=	2.839998
F=	15.22651	DEN=	2863055.	P=	2.849998
F=	15.10478	DEN=	2816723.	P=	2.859998
F=	14.98276	DEN=	2771346.	P=	2.869998
F=	14.86240	DEN=	2727049.	P=	2.879998
F=	14.74360	DEN=	2683856.	P=	2.889998
F=	14.62657	DEN=	2641192.	P=	2.899998
F=	14.51104	DEN=	2599633.	P=	2.909998
F=	14.39700	DEN=	2558056.	P=	2.919998
F=	14.28462	DEN=	2519140.	P=	2.929998
F=	14.17367	DEN=	2480159.	P=	2.939998
F=	14.06419	DEN=	2441095.	P=	2.949998
F=	13.95617	DEN=	2404626.	P=	2.959998
F=	13.84957	DEN=	2368032.	P=	2.969998
F=	13.74437	DEN=	2332195.	P=	2.979998
F=	13.64055	DEN=	2297094.	P=	2.989998
F=	13.53808	DEN=	2262711.	P=	2.999998
7 + SAITU					
F=	290.6918	DEN=	1.1088206E+09	P=	1.100000
F=	286.3174	DEN=	1.0120699E+09	P=	1.110000
F=	273.0238	DEN=	9.2634861E+08	P=	1.120000
F=	262.4208	DEN=	8.5018150E+08	P=	1.130000
F=	251.7274	DEN=	7.8230509E+08	P=	1.140000
F=	241.7706	DEN=	7.2164224E+08	P=	1.150000
F=	232.4643	DEN=	6.6727123E+08	P=	1.160000
F=	223.8092	DEN=	6.1840186E+08	P=	1.170000
F=	215.6916	DEN=	5.7435661E+08	P=	1.180000
F=	208.0833	DEN=	5.3455152E+08	P=	1.190000
F=	200.0407	DEN=	4.9848346E+08	P=	1.200000
F=	194.2243	DEN=	4.6571712E+08	P=	1.210000
F=	187.8987	DEN=	4.3587346E+08	P=	1.220000
F=	181.0317	DEN=	4.0863120E+08	P=	1.230000
F=	174.2943	DEN=	3.8369962E+08	P=	1.240000
F=	170.0602	DEN=	3.6083210E+08	P=	1.250000
F=	165.0059	DEN=	3.3981181E+08	P=	1.260000
F=	161.1096	DEN=	3.2044819E+08	P=	1.270000
F=	156.5520	DEN=	3.0257430E+08	P=	1.280000
F=	152.2153	DEN=	2.8604314E+08	P=	1.290000
F=	148.0835	DEN=	2.7072302E+08	P=	1.300000
F=	144.1421	DEN=	2.5650530E+08	P=	1.310000
F=	140.3777	DEN=	2.4328256E+08	P=	1.320000
F=	136.7782	DEN=	2.3096635E+08	P=	1.330000
F=	133.3327	DEN=	2.1947654E+08	P=	1.340000
F=	130.0310	DEN=	2.0874152E+08	P=	1.350000
F=	126.8640	DEN=	1.9869973E+08	P=	1.360000
F=	123.8233	DEN=	1.8928656E+08	P=	1.370000
F=	120.9012	DEN=	1.8045790E+08	P=	1.380000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F =	118.0904	DEN =	1.7216482E+08	D =	1.390000
F =	115.3847	DEN =	1.6436576E+08	D =	1.400000
F =	112.7779	DEN =	1.5702294E+08	D =	1.410000
F =	110.2640	DEN =	1.5010224E+08	D =	1.420000
F =	107.8396	DEN =	1.4357267E+08	D =	1.430000
F =	105.4983	DEN =	1.3740814E+08	D =	1.440000
F =	103.2363	DEN =	1.3157706E+08	D =	1.450000
F =	101.0400	DEN =	1.2606198E+08	D =	1.460000
F =	98.93430	DEN =	1.2083960E+08	D =	1.470000
F =	96.88715	DEN =	1.1580038E+08	D =	1.480000
F =	94.90471	DEN =	1.1110634E+08	D =	1.490000
F =	92.98402	DEN =	1.0674110E+08	D =	1.500000
F =	91.12227	DEN =	1.0250950E+08	D =	1.510000
F =	89.31081	DEN =	9.8407576E+07	D =	1.520000
F =	87.56516	DEN =	9.4602446E+07	D =	1.530000
F =	85.86500	DEN =	9.1022208E+07	D =	1.540000
F =	84.21410	DEN =	8.7555864E+07	D =	1.550000
F =	82.61050	DEN =	8.4253192E+07	D =	1.560000
F =	81.05235	DEN =	8.1104752E+07	D =	1.570000
F =	79.53764	DEN =	7.8101090E+07	D =	1.580000
F =	78.06477	DEN =	7.5235896E+07	D =	1.590000
F =	76.63204	DEN =	7.2499712E+07	D =	1.600000
F =	75.23000	DEN =	6.9886016E+07	D =	1.610000
F =	73.88127	DEN =	6.7381844E+07	D =	1.620000
F =	72.58632	DEN =	6.5000004E+07	D =	1.630000
F =	71.34503	DEN =	6.2715716E+07	D =	1.640000
F =	70.16208	DEN =	6.0520840E+07	D =	1.649999
F =	69.03480	DEN =	5.8437324E+07	D =	1.659999
F =	67.96094	DEN =	5.6433388E+07	D =	1.669999
F =	66.94405	DEN =	5.4513540E+07	D =	1.679999
F =	65.98100	DEN =	5.2673568E+07	D =	1.689999
F =	64.16582	DEN =	5.0909528E+07	D =	1.699999
F =	63.40392	DEN =	4.9217700E+07	D =	1.709999
F =	62.69404	DEN =	4.7594544E+07	D =	1.719999
F =	61.03330	DEN =	4.6036770E+07	D =	1.729999
F =	60.42532	DEN =	4.4541272E+07	D =	1.739999
F =	59.87402	DEN =	4.3105084E+07	D =	1.749999
F =	58.37370	DEN =	4.1725432E+07	D =	1.759999
F =	57.92046	DEN =	4.0399084E+07	D =	1.769999
F =	56.52052	DEN =	3.9125380E+07	D =	1.779999
F =	55.17070	DEN =	3.7900140E+07	D =	1.789999
F =	54.87863	DEN =	3.6721752E+07	D =	1.799999
F =	53.64014	DEN =	3.5588112E+07	D =	1.809999
F =	52.46000	DEN =	3.4497210E+07	D =	1.819999
F =	52.34501	DEN =	3.3447176E+07	D =	1.829999
F =	51.28750	DEN =	3.2436194E+07	D =	1.839999
F =	50.28235	DEN =	3.1462564E+07	D =	1.849999
F =	49.32673	DEN =	3.0524680E+07	D =	1.859999
F =	48.42264	DEN =	2.9620484E+07	D =	1.869999
F =	47.56715	DEN =	2.8750034E+07	D =	1.879999
F =	47.75672	DEN =	2.7910434E+07	D =	1.889999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	40.05263	DEN=	2.7100862E+07	P=	1.899999
F=	40.17278	DEN=	2.6320072E+07	P=	1.909999
F=	45.50730	DEN=	2.5566850E+07	P=	1.919999
F=	44.05583	DEN=	2.4840068E+07	P=	1.929999
F=	44.21708	DEN=	2.4138644E+07	P=	1.939999
F=	43.50340	DEN=	2.3461540E+07	P=	1.949999
F=	42.98174	DEN=	2.2807772E+07	P=	1.959999
F=	42.38264	DEN=	2.2176306E+07	P=	1.969999
F=	41.79579	DEN=	2.1566522E+07	P=	1.979999
F=	41.22088	DEN=	2.0977298E+07	P=	1.989999
F=	40.65759	DEN=	2.0407894E+07	P=	1.999999
F=	40.10361	DEN=	1.9857534E+07	P=	2.009999
F=	39.56469	DEN=	1.9325488E+07	P=	2.019999
F=	39.03452	DEN=	1.8811040E+07	P=	2.029999
F=	38.51485	DEN=	1.8313504E+07	P=	2.039999
F=	38.00540	DEN=	1.7832234E+07	P=	2.049999
F=	37.50503	DEN=	1.7366602E+07	P=	2.059999
F=	37.01019	DEN=	1.6916020E+07	P=	2.069999
F=	36.53503	DEN=	1.6479932E+07	P=	2.079999
F=	36.06404	DEN=	1.6057778E+07	P=	2.089999
F=	35.60208	DEN=	1.5649044E+07	P=	2.099999
F=	35.14984	DEN=	1.5253226E+07	P=	2.109999
F=	34.70330	DEN=	1.4869840E+07	P=	2.119999
F=	34.26910	DEN=	1.4498462E+07	P=	2.129999
F=	33.84122	DEN=	1.4138618E+07	P=	2.139999
F=	33.42129	DEN=	1.3790906E+07	P=	2.149999
F=	33.00947	DEN=	1.3451915E+07	P=	2.159999
F=	32.60469	DEN=	1.3124269E+07	P=	2.169999
F=	32.20760	DEN=	1.2806588E+07	P=	2.179999
F=	31.81792	DEN=	1.2498525E+07	P=	2.189999
F=	31.43530	DEN=	1.2199731E+07	P=	2.199999
F=	31.05963	DEN=	1.1909885E+07	P=	2.209999
F=	30.69070	DEN=	1.1628670E+07	P=	2.219999
F=	30.32853	DEN=	1.1355798E+07	P=	2.229999
F=	29.97270	DEN=	1.1090961E+07	P=	2.239999
F=	29.62339	DEN=	1.0833691E+07	P=	2.249999
F=	29.28019	DEN=	1.0584319E+07	P=	2.259999
F=	28.94300	DEN=	1.0341980E+07	P=	2.269999
F=	28.61180	DEN=	1.0106650E+07	P=	2.279999
F=	28.28640	DEN=	9878073.	P=	2.289999
F=	27.96673	DEN=	9656027.	P=	2.299999
F=	27.65255	DEN=	9440290.	P=	2.309999
F=	27.34379	DEN=	9230655.	P=	2.319999
F=	27.04035	DEN=	9026919.	P=	2.329999
F=	26.74209	DEN=	8828884.	P=	2.339999
F=	26.44892	DEN=	8636305.	P=	2.349999
F=	26.16072	DEN=	8449180.	P=	2.359999
F=	25.87740	DEN=	8267157.	P=	2.369999
F=	25.59883	DEN=	8090126.	P=	2.379999
F=	25.32500	DEN=	7917098.	P=	2.389999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE	DISTÂNCIA (R _o)		
F=	26.16072	DEN=	8449180.	D=	2.359999
F=	25.87740	DEN=	8267157.	D=	2.360999
F=	25.59883	DEN=	8090126.	D=	2.370999
F=	25.32493	DEN=	7917028.	D=	2.380999
F=	25.05560	DEN=	7750406.	D=	2.390999
F=	24.79073	DEN=	7587411.	D=	2.400999
F=	24.53024	DEN=	7428797.	D=	2.410999
F=	24.27403	DEN=	7274428.	D=	2.420999
F=	24.02202	DEN=	7124168.	D=	2.430999
F=	23.77413	DEN=	6977890.	D=	2.440999
F=	23.53025	DEN=	6835467.	D=	2.450999
F=	23.29032	DEN=	6696760.	D=	2.460999
F=	23.05425	DEN=	6561713.	D=	2.470999
F=	22.82197	DEN=	6430153.	D=	2.480999
F=	22.59360	DEN=	6301095.	D=	2.490999
F=	22.36866	DEN=	6177134.	D=	2.500999
F=	22.14708	DEN=	6055470.	D=	2.510999
F=	21.92910	DEN=	5936003.	D=	2.520999
F=	21.71471	DEN=	5821342.	D=	2.530999
F=	21.50359	DEN=	5708698.	D=	2.540999
F=	21.29576	DEN=	5598881.	D=	2.550999
F=	21.09114	DEN=	5491807.	D=	2.560999
F=	20.88969	DEN=	5387397.	D=	2.570999
F=	20.69133	DEN=	5285571.	D=	2.580999
F=	20.49601	DEN=	5186252.	D=	2.590999
F=	20.30366	DEN=	5089368.	D=	2.600999
F=	20.11424	DEN=	4994847.	D=	2.610999
F=	19.92767	DEN=	4902620.	D=	2.620999
F=	19.74302	DEN=	4812624.	D=	2.630999
F=	19.56202	DEN=	4724790.	D=	2.640999
F=	19.38463	DEN=	4639059.	D=	2.650999
F=	19.20998	DEN=	4555371.	D=	2.660999
F=	19.03504	DEN=	4473667.	D=	2.670999
F=	18.86545	DEN=	4393891.	D=	2.680999
F=	18.69746	DEN=	4315960.	D=	2.690999
F=	18.53103	DEN=	4239008.	D=	2.700999
F=	18.36882	DEN=	4165548.	D=	2.710999
F=	18.20807	DEN=	4093008.	D=	2.720999
F=	18.04964	DEN=	4022092.	D=	2.739999
F=	17.89349	DEN=	3952803.	D=	2.749999
F=	17.73958	DEN=	3885096.	D=	2.759999
F=	17.58787	DEN=	3818929.	D=	2.769999
F=	17.43832	DEN=	3754259.	D=	2.779999
F=	17.29086	DEN=	3691046.	D=	2.789999
F=	17.14553	DEN=	3629250.	D=	2.799999
F=	17.00222	DEN=	3568832.	D=	2.809999
F=	16.86091	DEN=	3509757.	D=	2.819999
F=	16.72157	DEN=	3451968.	D=	2.829998
F=	16.58417	DEN=	3395490.	D=	2.839998
F=	16.44867	DEN=	3340231.	D=	2.849998
F=	16.31503	DEN=	3286176.	D=	2.859998
F=	16.18323	DEN=	3233296.	D=	2.869998
F=	16.05323	DEN=	3181557.	D=	2.879998

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	15.92500	DEN=	3130037.	P=	2.889908
F=	15.79850	DEN=	3081391.	P=	2.890908
F=	15.67371	DEN=	3032005.	P=	2.909908
F=	15.55061	DEN=	2985449.	P=	2.919908
F=	15.42915	DEN=	2938996.	P=	2.929908
F=	15.30931	DEN=	2893518.	P=	2.939908
F=	15.19106	DEN=	2848994.	P=	2.949908
F=	15.07439	DEN=	2805397.	P=	2.959908
F=	14.95975	DEN=	2762704.	P=	2.969908
F=	14.84562	DEN=	2720894.	P=	2.979908
F=	14.73348	DEN=	2679943.	P=	2.989908
F=	14.62279	DEN=	2639829.	P=	2.999908
R *SAITO					
F=	320.3840	DEN=	1.2672338E+09	P=	1.100000
F=	306.0862	DEN=	1.1506513E+09	P=	1.110000
F=	292.8368	DEN=	1.0586841E+09	P=	1.120000
F=	280.5397	DEN=	9.7163507E+08	P=	1.130000
F=	269.1080	DEN=	8.9406208E+08	P=	1.140000
F=	258.4636	DEN=	8.2473305E+08	P=	1.150000
F=	248.5362	DEN=	7.6259571E+08	P=	1.160000
F=	239.2671	DEN=	7.0674496E+08	P=	1.170000
F=	230.5840	DEN=	6.5640755E+08	P=	1.180000
F=	222.4504	DEN=	6.1091603E+08	P=	1.190000
F=	214.8146	DEN=	5.6969536E+08	P=	1.200000
F=	207.6345	DEN=	5.3224813E+08	P=	1.210000
F=	200.8771	DEN=	4.9814339E+08	P=	1.220000
F=	194.4931	DEN=	4.6700707E+08	P=	1.230000
F=	188.4065	DEN=	4.3851386E+08	P=	1.240000
F=	182.7642	DEN=	4.1237955E+08	P=	1.250000
F=	177.3008	DEN=	3.8835635E+08	P=	1.260000
F=	172.2334	DEN=	3.6622650E+08	P=	1.270000
F=	167.3611	DEN=	3.4579920E+08	P=	1.280000
F=	162.7250	DEN=	3.2690645E+08	P=	1.290000
F=	158.3079	DEN=	3.0940003E+08	P=	1.300000
F=	154.0945	DEN=	2.9314899E+08	P=	1.310000
F=	150.0700	DEN=	2.7803722E+08	P=	1.320000
F=	146.2220	DEN=	2.6396155E+08	P=	1.330000
F=	142.5396	DEN=	2.50883034E+08	P=	1.340000
F=	139.0000	DEN=	2.3856174E+08	P=	1.350000
F=	135.6234	DEN=	2.2708267E+08	P=	1.360000
F=	132.3777	DEN=	2.1632752E+08	P=	1.370000
F=	129.2488	DEN=	2.0623760E+08	P=	1.380000
F=	126.2440	DEN=	1.9675979E+08	P=	1.390000
F=	123.3514	DEN=	1.8784658E+08	P=	1.400000
F=	120.5647	DEN=	1.7945480E+08	P=	1.410000
F=	117.8778	DEN=	1.7154542E+08	P=	1.420000
F=	115.2854	DEN=	1.6408306E+08	P=	1.430000
F=	112.7825	DEN=	1.5703560E+08	P=	1.440000
F=	110.3643	DEN=	1.5037378E+08	P=	1.450000
F=	108.0260	DEN=	1.4407083E+08	P=	1.460000
F=	105.7653	DEN=	1.3810240E+08	P=	1.470000
F=	103.5767	DEN=	1.3244614E+08	P=	1.480000
F=	101.4574	DEN=	1.2708154E+08	P=	1.490000
F=	99.40410	DEN=	1.2198982E+08	P=	1.500000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	47.41381	DEN=	1.1715371F+06	P=	1.510000
F=	05.48370	DEN=	1.1255723F+08	P=	1.520000
F=	03.01110	DEN=	1.0818560F+08	P=	1.530000
F=	01.70355	DEN=	1.0402538F+08	P=	1.540000
F=	00.02872	DEN=	1.0006384F+06	P=	1.550000
F=	80.51442	DEN=	9.0269360F+07	P=	1.560000
F=	80.04661	DEN=	9.2691144F+07	P=	1.570000
F=	85.02931	DEN=	8.9259080F+07	P=	1.580000
F=	83.45473	DEN=	8.5963880F+07	P=	1.590000
F=	81.92315	DEN=	8.2856610F+07	P=	1.600000
F=	80.43286	DEN=	7.9809726F+07	P=	1.610000
F=	78.98240	DEN=	7.7015064F+07	P=	1.620000
F=	77.57024	DEN=	7.4285720F+07	P=	1.630000
F=	76.10503	DEN=	7.1675104F+07	P=	1.640000
F=	74.85542	DEN=	6.9176960F+07	P=	1.649999
F=	73.55016	DEN=	6.6765512F+07	P=	1.659999
F=	72.27807	DEN=	6.4495300F+07	P=	1.669999
F=	71.03709	DEN=	6.2301188F+07	P=	1.679999
F=	69.02884	DEN=	6.0198364F+07	P=	1.689999
F=	68.04960	DEN=	5.8182316F+07	P=	1.699999
F=	67.40928	DEN=	5.6248800F+07	P=	1.709999
F=	66.57091	DEN=	5.4393764F+07	P=	1.719999
F=	65.28162	DEN=	5.2613450F+07	P=	1.729999
F=	64.21252	DEN=	5.0904312F+07	P=	1.739999
F=	63.16881	DEN=	4.9267952F+07	P=	1.749999
F=	62.14968	DEN=	4.7686208F+07	P=	1.759999
F=	61.15437	DEN=	4.6171060F+07	P=	1.769999
F=	60.18210	DEN=	4.4714720F+07	P=	1.779999
F=	59.23234	DEN=	4.3314464F+07	P=	1.789999
F=	58.30424	DEN=	4.1967716F+07	P=	1.799999
F=	57.39723	DEN=	4.0672128F+07	P=	1.809999
F=	56.51067	DEN=	3.9425388F+07	P=	1.819999
F=	55.64398	DEN=	3.8225344F+07	P=	1.829999
F=	54.79057	DEN=	3.7069936F+07	P=	1.839999
F=	53.96790	DEN=	3.5957216F+07	P=	1.849999
F=	53.15743	DEN=	3.4885348F+07	P=	1.859999
F=	52.36465	DEN=	3.3852552F+07	P=	1.869999
F=	51.58907	DEN=	3.2857182F+07	P=	1.879999
F=	50.83019	DEN=	3.1897638F+07	P=	1.889999
F=	50.08750	DEN=	3.0972414F+07	P=	1.899999
F=	49.36078	DEN=	3.0080082F+07	P=	1.909999
F=	48.64935	DEN=	2.9219256F+07	P=	1.919999
F=	47.95290	DEN=	2.8388656F+07	P=	1.929999
F=	47.27101	DEN=	2.7587022F+07	P=	1.939999
F=	46.60330	DEN=	2.6813188F+07	P=	1.949999
F=	45.94941	DEN=	2.6066024F+07	P=	1.959999
F=	45.30894	DEN=	2.5344452F+07	P=	1.969999
F=	44.68150	DEN=	2.4647654F+07	P=	1.979999
F=	44.06697	DEN=	2.3974054F+07	P=	1.989999
F=	43.46479	DEN=	2.3323308F+07	P=	1.999999
F=	42.87470	DEN=	2.2694324F+07	P=	2.009999
F=	42.29663	DEN=	2.2086272F+07	P=	2.019999
F=	41.72960	DEN=	2.1498332F+07	P=	2.029999
F=	41.17411	DEN=	2.0929718F+07	P=	2.039999
F=	40.62949	DEN=	2.0379606F+07	P=	2.049999
F=	40.09552	DEN=	1.9847546F+07	P=	2.059999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)		
F=	39.57197	DEN=	1.9332604E+07	P=	2.060909
F=	39.05050	DEN=	1.0834206E+07	P=	2.070909
F=	30.55504	DEN=	1.6351740E+07	P=	2.080909
F=	30.06119	DEN=	1.7884672E+07	P=	2.090909
F=	37.57070	DEN=	1.7437250E+07	P=	2.100909
F=	37.10152	DEN=	1.6094411E+07	P=	2.110909
F=	30.63527	DEN=	1.0509671E+07	P=	2.120909
F=	30.17778	DEN=	1.6158471E+07	P=	2.130909
F=	35.72886	DEN=	1.5750895E+07	P=	2.140909
F=	35.28828	DEN=	1.5373617E+07	P=	2.150909
F=	34.05588	DEN=	1.4999164E+07	P=	2.160909
F=	34.43144	DEN=	1.4636101E+07	P=	2.170909
F=	34.01479	DEN=	1.4284078E+07	P=	2.180909
F=	33.60575	DEN=	1.3942555E+07	P=	2.190909
F=	33.20414	DEN=	1.3611297E+07	P=	2.200909
F=	32.80480	DEN=	1.3289915E+07	P=	2.210909
F=	32.42250	DEN=	1.2978055E+07	P=	2.220909
F=	32.04225	DEN=	1.2675384E+07	P=	2.230909
F=	31.66873	DEN=	1.2381500E+07	P=	2.240909
F=	31.30184	DEN=	1.2096364E+07	P=	2.250909
F=	30.94143	DEN=	1.1819413E+07	P=	2.260909
F=	30.58737	DEN=	1.1550457E+07	P=	2.270909
F=	30.23950	DEN=	1.1289276E+07	P=	2.280909
F=	29.89769	DEN=	1.1035459E+07	P=	2.290909
F=	29.56182	DEN=	1.0788903E+07	P=	2.300909
F=	29.23174	DEN=	1.0549320E+07	P=	2.310909
F=	28.90735	DEN=	1.0316479E+07	P=	2.320909
F=	28.58850	DEN=	1.0090153E+07	P=	2.330909
F=	28.27509	DEN=	9870131.	P=	2.340909
F=	27.96609	DEN=	9656206.	P=	2.350909
F=	27.66410	DEN=	9448179.	P=	2.360909
F=	27.36630	DEN=	9245858.	P=	2.370909
F=	27.07349	DEN=	9049060.	P=	2.380909
F=	26.78556	DEN=	8857606.	P=	2.390909
F=	26.50240	DEN=	8671326.	P=	2.400909
F=	26.22302	DEN=	8490053.	P=	2.410909
F=	25.94503	DEN=	8313632.	P=	2.420909
F=	25.68062	DEN=	8141906.	P=	2.430909
F=	25.41561	DEN=	7974732.	P=	2.440909
F=	25.15400	DEN=	7811902.	P=	2.450909
F=	24.89840	DEN=	7653462.	P=	2.460909
F=	24.64604	DEN=	7499101.	P=	2.470909
F=	24.39771	DEN=	7348747.	P=	2.480909
F=	24.15330	DEN=	7202280.	P=	2.490909
F=	23.91289	DEN=	7059582.	P=	2.500909
F=	23.67622	DEN=	6920537.	P=	2.510909
F=	23.44326	DEN=	6785032.	P=	2.520909
F=	23.21400	DEN=	6652963.	P=	2.530909
F=	22.98831	DEN=	6524226.	P=	2.540909
F=	22.76612	DEN=	6398721.	P=	2.550909
F=	22.54738	DEN=	6276351.	P=	2.560909
F=	22.33202	DEN=	6157025.	P=	2.570909
F=	22.11906	DEN=	6040653.	P=	2.580909
F=	21.91113	DEN=	5927145.	P=	2.590909
F=	21.70553	DEN=	5816642.	P=	2.600909

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	21.50303	DEN=	5706397.	D=	2.610999
F=	21.30358	DEN=	5602095.	D=	2.629999
F=	21.10714	DEN=	5500141.	D=	2.639999
F=	20.91364	DEN=	5399700.	D=	2.649999
F=	20.72304	DEN=	5301782.	D=	2.659999
F=	20.53526	DEN=	5206138.	D=	2.669999
F=	20.35028	DEN=	5112702.	D=	2.679999
F=	20.16801	DEN=	5021590.	D=	2.689999
F=	19.98843	DEN=	4932559.	D=	2.699999
F=	19.81147	DEN=	4843609.	D=	2.709999
F=	19.63709	DEN=	4760683.	D=	2.719999
F=	19.46524	DEN=	4677724.	D=	2.729999
F=	19.29587	DEN=	4590676.	D=	2.739999
F=	19.12895	DEN=	4511489.	D=	2.749999
F=	18.96441	DEN=	4440110.	D=	2.759999
F=	18.80223	DEN=	4364690.	D=	2.769999
F=	18.64235	DEN=	4290581.	D=	2.779999
F=	18.48473	DEN=	4218338.	D=	2.789999
F=	18.32934	DEN=	4147714.	D=	2.799999
F=	18.17613	DEN=	4078665.	D=	2.809999
F=	18.02507	DEN=	4011151.	D=	2.819999
F=	17.87611	DEN=	3945130.	D=	2.829998
F=	17.72922	DEN=	3880500.	D=	2.839998
F=	17.58437	DEN=	3817407.	D=	2.849998
F=	17.44150	DEN=	3755630.	D=	2.859998
F=	17.30060	DEN=	3695195.	D=	2.869998
F=	17.16162	DEN=	3636066.	D=	2.879998
F=	17.02454	DEN=	3578208.	D=	2.889998
F=	16.88931	DEN=	3521589.	D=	2.899998
F=	16.75591	DEN=	3466178.	D=	2.909998
F=	16.62430	DEN=	3411942.	D=	2.919998
F=	16.49440	DEN=	3358853.	D=	2.929998
F=	16.36634	DEN=	3306878.	D=	2.939998
F=	16.23993	DEN=	3255993.	D=	2.949998
F=	16.11520	DEN=	3206168.	D=	2.959998
F=	15.99211	DEN=	3157376.	D=	2.969998
F=	15.87063	DEN=	3109543.	D=	2.979998
F=	15.75075	DEN=	3062792.	D=	2.989998
F=	15.63242	DEN=	3016947.	D=	2.999998
O + SAITO					
F=	339.8186	DEN=	1.425638UF+09	D=	1.100000
F=	324.6534	DEN=	1.3012320E+09	D=	1.110000
F=	310.6004	DEN=	1.1910190E+09	D=	1.120000
F=	297.5573	DEN=	1.0930904E+09	D=	1.130000
F=	285.4321	DEN=	1.0058209E+09	D=	1.140000
F=	274.1421	DEN=	9.2702373E+08	D=	1.150000
F=	263.6125	DEN=	8.5792019E+08	D=	1.160000
F=	253.7757	DEN=	7.9508800E+08	D=	1.170000
F=	244.5213	DEN=	7.3845850E+08	D=	1.180000
F=	235.0443	DEN=	6.8728051E+08	D=	1.190000
F=	227.8453	DEN=	6.4090726E+08	D=	1.200000
F=	220.2297	DEN=	5.9877914E+08	D=	1.210000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	213.0571	DEN=	5.6041135F+08	D=	1.220000
F=	206.2911	DEN=	5.2538294F+08	D=	1.230000
F=	190.8989	DEN=	4.9332810F+08	D=	1.240000
F=	193.8507	DEN=	4.6392701F+08	D=	1.250000
F=	188.1100	DEN=	4.3640090UF+08	D=	1.260000
F=	182.6611	DEN=	4.1207480UF+08	D=	1.270000
F=	177.5132	DEN=	3.8902410UF+08	D=	1.280000
F=	172.5959	DEN=	3.6776973F+08	D=	1.290000
F=	167.9109	DEN=	3.4807504F+08	D=	1.300000
F=	163.4417	DEN=	3.279261F+08	D=	1.310000
F=	159.1733	DEN=	3.1279187F+08	D=	1.320000
F=	155.0919	DEN=	2.9695674F+08	D=	1.330000
F=	151.1850	DEN=	2.8218413F+08	D=	1.340000
F=	147.4413	DEN=	2.6838197F+08	D=	1.350000
F=	143.8503	DEN=	2.554680UF+08	D=	1.360000
F=	140.4024	DEN=	2.4336846UF+08	D=	1.370000
F=	137.0890	DEN=	2.3201730UF+08	D=	1.380000
F=	133.9020	DEN=	2.2135477F+08	D=	1.390000
F=	130.8339	DEN=	2.1132739F+08	D=	1.400000
F=	127.8781	DEN=	2.0188666F+08	D=	1.410000
F=	125.0283	DEN=	1.9298861F+08	D=	1.420000
F=	122.2796	DEN=	1.8459344F+08	D=	1.430000
F=	119.6239	DEN=	1.7666506F+08	D=	1.440000
F=	117.0590	DEN=	1.6917050UF+08	D=	1.450000
F=	114.5795	DEN=	1.6202796UF+08	D=	1.460000
F=	112.1810	DEN=	1.5536320UF+08	D=	1.470000
F=	109.8597	DEN=	1.4900192F+08	D=	1.480000
F=	107.6118	DEN=	1.42946674F+08	D=	1.490000
F=	105.4340	DEN=	1.37223850F+08	D=	1.500000
F=	103.3230	DEN=	1.3179793F+08	D=	1.510000
F=	101.2757	DEN=	1.2662089F+08	D=	1.520000
F=	99.2895	DEN=	1.2170880F+08	D=	1.530000
F=	97.36170	DEN=	1.1702850F+08	D=	1.540000
F=	95.48980	DEN=	1.1257182F+08	D=	1.550000
F=	93.67159	DEN=	1.0833753F+08	D=	1.560000
F=	91.90473	DEN=	1.0422754F+08	D=	1.570000
F=	90.18721	DEN=	1.0041646F+08	D=	1.580000
F=	88.51712	DEN=	9.6731864F+07	D=	1.590000
F=	86.89262	DEN=	9.3213920UF+07	D=	1.600000
F=	85.31104	DEN=	8.9853448F+07	D=	1.610000
F=	83.77368	DEN=	8.6641944F+07	D=	1.620000
F=	82.27567	DEN=	8.3571432F+07	D=	1.630000
F=	80.81703	DEN=	8.0634490F+07	D=	1.640000
F=	79.39610	DEN=	7.7824080UF+07	D=	1.649999
F=	78.01173	DEN=	7.5133704F+07	D=	1.659999
F=	76.66247	DEN=	7.2557216F+07	D=	1.669999
F=	75.34717	DEN=	7.0088840UF+07	D=	1.679999
F=	74.06467	DEN=	6.7723160UF+07	D=	1.689999
F=	72.81390	DEN=	6.5455104F+07	D=	1.699999
F=	71.59380	DEN=	6.3279900UF+07	D=	1.709999
F=	70.40334	DEN=	6.1192984F+07	D=	1.719999
F=	69.24161	DEN=	5.9190140UF+07	D=	1.729999
F=	68.10767	DEN=	5.7267352F+07	D=	1.739999

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA	DENSIDADE	DISTÂNCIA (R ₀)
F= 67.00064	DEN= 5.542082UF+07	D= 1.749909
F= 65.91969	DEN= 5.5646984F+07	D= 1.750909
F= 64.86400	DEN= 5.1942452F+07	D= 1.760909
F= 63.83282	DEN= 5.030406UF+07	D= 1.770909
F= 62.82536	DEN= 4.8728748F+07	D= 1.789909
F= 61.84099	DEN= 4.721308UF+07	D= 1.799909
F= 60.87896	DEN= 4.5756144F+07	D= 1.809909
F= 59.93062	DEN= 4.435356UF+07	D= 1.819909
F= 59.01930	DEN= 4.3003512F+07	D= 1.829909
F= 58.12055	DEN= 4.170308UF+07	D= 1.839909
F= 57.24160	DEN= 4.0451868F+07	D= 1.849909
F= 56.38107	DEN= 3.9246016F+07	D= 1.859909
F= 55.54110	DEN= 3.8086412UF+07	D= 1.869909
F= 54.71846	DEN= 3.69804328F+07	D= 1.879909
F= 53.91356	DEN= 3.5884844F+07	D= 1.889909
F= 53.12500	DEN= 3.4843964F+07	D= 1.899909
F= 52.35501	DEN= 3.3840092F+07	D= 1.909909
F= 51.60043	DEN= 3.2871064F+07	D= 1.919909
F= 50.86173	DEN= 3.1937232F+07	D= 1.929909
F= 50.13848	DEN= 3.103540UF+07	D= 1.939909
F= 49.43027	DEN= 3.0164636F+07	D= 1.949909
F= 48.73070	DEN= 2.9324276F+07	D= 1.959909
F= 48.05739	DEN= 2.8512508F+07	D= 1.969909
F= 47.39197	DEN= 2.7728386F+07	D= 1.979909
F= 46.74008	DEN= 2.697081UF+07	D= 1.989909
F= 46.10137	DEN= 2.6235872F+07	D= 1.999909
F= 45.47549	DEN= 2.5531114F+07	D= 2.009909
F= 44.86214	DEN= 2.4847056F+07	D= 2.019909
F= 44.26040	DEN= 2.41827156F+07	D= 2.029909
F= 43.67073	DEN= 2.3538490UF+07	D= 2.039909
F= 43.09224	DEN= 2.2914918UF+07	D= 2.049909
F= 42.52496	DEN= 2.23118484F+07	D= 2.059909
F= 41.96809	DEN= 2.172845714F+07	D= 2.069909
F= 41.42167	DEN= 2.11645720UF+07	D= 2.079909
F= 40.88575	DEN= 2.062020UF+07	D= 2.089909
F= 40.36017	DEN= 2.0095376F+07	D= 2.099909
F= 39.84521	DEN= 1.9589808UF+07	D= 2.109909
F= 39.34057	DEN= 1.9103408UF+07	D= 2.119909
F= 38.84623	DEN= 1.86360824F+07	D= 2.129909
F= 38.36210	DEN= 1.81878224F+07	D= 2.139909
F= 37.88807	DEN= 1.7757682F+07	D= 2.149909
F= 37.42407	DEN= 1.7345532UF+07	D= 2.159909
F= 36.97024	DEN= 1.6951406UF+07	D= 2.169909
F= 36.52606	DEN= 1.65745614F+07	D= 2.179909
F= 36.09144	DEN= 1.62149532F+07	D= 2.189909
F= 35.66620	DEN= 1.58725369F+07	D= 2.199909
F= 35.25031	DEN= 1.55472704F+07	D= 2.209909
F= 34.84305	DEN= 1.52391154F+07	D= 2.219909
F= 34.44522	DEN= 1.49480312F+07	D= 2.229909
F= 34.05694	DEN= 1.46739607F+07	D= 2.239909
F= 33.67820	DEN= 1.44169289F+07	D= 2.249909
F= 33.30902	DEN= 1.4176941UF+07	D= 2.259909
F= 32.94935	DEN= 1.39539684UF+07	D= 2.269909
F= 32.59918	DEN= 1.37470264F+07	D= 2.279909
F= 32.25851	DEN= 1.35561379F+07	D= 2.289909
F= 31.92734	DEN= 1.33813091F+07	D= 2.299909
F= 31.60567	DEN= 1.32226316F+07	D= 2.309909
F= 31.29350	DEN= 1.3079995F+07	D= 2.319909
F= 30.99083	DEN= 1.29534034F+07	D= 2.329909
F= 30.69766	DEN= 1.284286142F+07	D= 2.339909

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	29.40070	DEN=	1.1103097F+07	D=	2.349909
F=	29.06347	DEN=	1.0803232F+07	D=	2.350909
F=	29.34221	DEN=	1.0620201F+07	D=	2.360909
F=	29.02035	DEN=	1.0401500F+07	D=	2.370909
F=	26.71577	DEN=	1.0100103F+07	D=	2.380909
F=	26.41037	DEN=	0.964807.	D=	2.390909
F=	28.11004	DEN=	0.755262.	D=	2.400909
F=	27.01467	DEN=	0.51310.	D=	2.410909
F=	27.52417	DEN=	0.52836.	D=	2.420909
F=	27.23041	DEN=	0.159644.	D=	2.430909
F=	26.95732	DEN=	0.971573.	D=	2.440909
F=	26.08090	DEN=	0.7886457.	D=	2.450909
F=	26.40674	DEN=	0.610145.	D=	2.460909
F=	26.14107	DEN=	0.430608.	D=	2.470909
F=	25.07760	DEN=	0.267340.	D=	2.480909
F=	25.01690	DEN=	0.102505.	D=	2.490909
F=	25.36363	DEN=	2.942020.	D=	2.500909
F=	25.11242	DEN=	7.785604.	D=	2.510909
F=	24.06330	DEN=	7033101.	D=	2.520909
F=	24.02217	DEN=	7484503.	D=	2.530909
F=	24.38270	DEN=	7339734.	D=	2.540909
F=	24.14712	DEN=	7106501.	D=	2.550909
F=	23.91511	DEN=	7060899.	D=	2.560909
F=	23.08060	DEN=	6920633.	D=	2.570909
F=	23.46170	DEN=	6795734.	D=	2.580909
F=	23.24029	DEN=	6660039.	D=	2.590909
F=	23.02219	DEN=	6543673.	D=	2.600909
F=	22.00740	DEN=	6421044.	D=	2.610909
F=	22.50590	DEN=	6303300.	D=	2.620909
F=	22.38750	DEN=	6187630.	D=	2.630909
F=	22.18227	DEN=	6074730.	D=	2.640909
F=	21.90010	DEN=	5964504.	D=	2.650909
F=	21.78004	DEN=	5856006.	D=	2.660909
F=	21.59473	DEN=	5751850.	D=	2.670909
F=	21.39141	DEN=	5649288.	D=	2.680909
F=	21.20003	DEN=	5549120.	D=	2.690909
F=	21.01324	DEN=	5451310.	D=	2.700909
F=	20.62020	DEN=	5355700.	D=	2.710909
F=	20.04001	DEN=	5262430.	D=	2.720909
F=	20.46030	DEN=	5171201.	D=	2.730909
F=	20.28931	DEN=	5082175.	D=	2.740909
F=	20.11400	DEN=	4995124.	D=	2.750909
F=	19.94277	DEN=	4910052.	D=	2.760909
F=	19.77319	DEN=	4826904.	D=	2.770909
F=	19.60602	DEN=	4745631.	D=	2.780909
F=	19.44170	DEN=	4666178.	D=	2.790909
F=	19.27870	DEN=	4588049.	D=	2.800909
F=	19.11647	DEN=	4512545.	D=	2.810909
F=	18.96040	DEN=	4438627.	D=	2.820909
F=	18.80046	DEN=	4365630.	D=	2.830909
F=	18.65104	DEN=	4294503.	D=	2.840909
F=	18.49951	DEN=	4225084.	D=	2.850909
F=	18.35006	DEN=	4157094.	D=	2.860909
F=	18.20263	DEN=	4090574.	D=	2.870909

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	16.05775	DEN=	2025404.	D=	2.860900
F=	17.91382	DEN=	3961708.	D=	2.890900
F=	17.77232	DEN=	3094450.	D=	2.900900
F=	17.03275	DEN=	3030435.	D=	2.910900
F=	17.49501	DEN=	3770709.	D=	2.920900
F=	17.35913	DEN=	2720238.	D=	2.930900
F=	17.22505	DEN=	3062097.	D=	2.940900
F=	17.00275	DEN=	3000930.	D=	2.950900
F=	16.96219	DEN=	3552048.	D=	2.960900
F=	16.03575	DEN=	3496297.	D=	2.970900
F=	16.70019	DEN=	3445641.	D=	2.980900
F=	16.58069	DEN=	3594006.	D=	2.990900
10 + SAITU					
D=	350.2002	DEN=	1.5840422E+09	D=	1.100000
F=	347.2140	DEN=	1.4438161E+09	D=	1.110000
F=	327.4015	DEN=	1.3233551E+09	D=	1.120000
F=	313.6529	DEN=	1.2145050E+09	D=	1.130000
F=	300.8719	DEN=	1.1175780E+09	D=	1.140000
F=	289.0711	DEN=	1.0309170E+09	D=	1.150000
F=	277.8719	DEN=	9.5324467E+08	D=	1.160000
F=	267.5031	DEN=	8.8343123E+08	D=	1.170000
F=	257.8006	DEN=	8.2059944E+08	D=	1.180000
F=	248.7072	DEN=	7.6304500E+08	D=	1.190000
F=	240.1701	DEN=	7.1211923E+08	D=	1.200000
F=	232.1425	DEN=	6.66531014E+08	D=	1.210000
F=	224.5819	DEN=	6.2707923E+08	D=	1.220000
F=	217.4409	DEN=	5.9375885E+08	D=	1.230000
F=	210.7119	DEN=	5.64814234E+08	D=	1.240000
F=	204.3565	DEN=	5.41547445E+08	D=	1.250000
F=	198.2954	DEN=	5.20544544E+08	D=	1.260000
F=	192.5020	DEN=	5.0778314E+08	D=	1.270000
F=	187.1154	DEN=	4.9724099E+08	D=	1.280000
F=	181.0521	DEN=	4.88303300E+08	D=	1.290000
F=	176.0930	DEN=	4.80675005E+08	D=	1.300000
F=	172.2027	DEN=	4.740643020E+08	D=	1.310000
F=	167.7034	DEN=	4.6754053E+08	D=	1.320000
F=	163.4012	DEN=	4.62095104E+08	D=	1.330000
F=	159.3030	DEN=	4.5733702E+08	D=	1.340000
F=	155.4160	DEN=	4.52820210E+08	D=	1.350000
11 + SAITU					
F=	151.6515	DEN=	4.48305334E+08	D=	1.360000
F=	147.0972	DEN=	4.44040941E+08	D=	1.370000
F=	144.5045	DEN=	4.40770701E+08	D=	1.380000
F=	141.1451	DEN=	4.3749474E+08	D=	1.390000
F=	137.0111	DEN=	4.3460822E+08	D=	1.400000
F=	134.7954	DEN=	4.32431050E+08	D=	1.410000
F=	131.7914	DEN=	4.30443170E+08	D=	1.420000
F=	128.8930	DEN=	4.28510392E+08	D=	1.430000
F=	126.0940	DEN=	4.26629450E+08	D=	1.440000
F=	123.3910	DEN=	4.2479672E+08	D=	1.450000
F=	120.7774	DEN=	4.23008054E+08	D=	1.460000
F=	118.2402	DEN=	4.21262000E+08	D=	1.470000
F=	115.8023	DEN=	4.19555760E+08	D=	1.480000
F=	113.4520	DEN=	4.17885102E+08	D=	1.490000
F=	111.1572	DEN=	4.16248728E+08	D=	1.500000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	108.0119	DEN=	1.4644214F+00	D=	1.510000
F=	106.7540	DEN=	1.4009054F+00	D=	1.520000
F=	104.6004	DEN=	1.3523200F+00	D=	1.530000
F=	102.6283	DEN=	1.3003173F+00	D=	1.540000
F=	100.6552	DEN=	1.2507980F+00	D=	1.550000
F=	98.7305	DEN=	1.2036170F+00	D=	1.560000
F=	96.8070	DEN=	1.1586303F+00	D=	1.570000
F=	95.0636	DEN=	1.1157385F+00	D=	1.580000
F=	93.5052	DEN=	1.0747985F+00	D=	1.590000
F=	91.3020	DEN=	1.0357102F+00	D=	1.600000
F=	89.4204	DEN=	9.9837160F+07	D=	1.610000
F=	88.0050	DEN=	9.6208032F+07	D=	1.620000
F=	86.7201	DEN=	9.2857152F+07	D=	1.630000
F=	85.1806	DEN=	8.9593080F+07	D=	1.640000
F=	83.6000	DEN=	8.6471200F+07	D=	1.640000
F=	82.2315	DEN=	8.3481080F+07	D=	1.650000
F=	80.6093	DEN=	8.0619120F+07	D=	1.660000
F=	79.4289	DEN=	7.7876480F+07	D=	1.670000
F=	78.0701	DEN=	7.5247952F+07	D=	1.680000
F=	76.7525	DEN=	7.2727800F+07	D=	1.690000
F=	75.4606	DEN=	7.0311000F+07	D=	1.700000
F=	74.2116	DEN=	6.7992200F+07	D=	1.710000
F=	72.9870	DEN=	6.5760200F+07	D=	1.720000
F=	71.7017	DEN=	6.3630302F+07	D=	1.730000
F=	70.0748	DEN=	6.1578602F+07	D=	1.740000
F=	69.4854	DEN=	5.9607760F+07	D=	1.750000
F=	68.0326	DEN=	5.7713830F+07	D=	1.760000
F=	66.7237	DEN=	5.5893400F+07	D=	1.770000
F=	66.2237	DEN=	5.4143050F+07	D=	1.780000
F=	65.1801	DEN=	5.2450644F+07	D=	1.790000
F=	64.1720	DEN=	5.0840160F+07	D=	1.800000
F=	63.1909	DEN=	4.9201730F+07	D=	1.810000
F=	62.2119	DEN=	4.7701080F+07	D=	1.820000
F=	61.2644	DEN=	4.63357420F+07	D=	1.830000
F=	60.3370	DEN=	4.50046520F+07	D=	1.840000
F=	59.4312	DEN=	4.38006034F+07	D=	1.850000
F=	58.5454	DEN=	4.2715002F+07	D=	1.860000
F=	57.6703	DEN=	4.17071470F+07	D=	1.870000
F=	56.8029	DEN=	4.07872048F+07	D=	1.880000
F=	55.9048	DEN=	3.98720510F+07	D=	1.890000
F=	55.1970	DEN=	3.97600104F+07	D=	1.900000
F=	54.5916	DEN=	3.9524072F+07	D=	1.910000
F=	53.6120	DEN=	3.9405812F+07	D=	1.920000
F=	52.6506	DEN=	3.9403770F+07	D=	1.930000
F=	52.1040	DEN=	3.9516480F+07	D=	1.940000
F=	51.5720	DEN=	3.2507330F+07	D=	1.950000
F=	50.6500	DEN=	3.1600560F+07	D=	1.960000
F=	49.4552	DEN=	3.0809310F+07	D=	1.970000
F=	49.2603	DEN=	2.9067560F+07	D=	1.980000
F=	48.3051	DEN=	2.9154130F+07	D=	1.990000
F=	47.9353	DEN=	2.8307900F+07	D=	2.000000
F=	47.2808	DEN=	2.7607040F+07	D=	2.010000
F=	46.0551	DEN=	2.6872910F+07	D=	2.020000
F=	46.0034	DEN=	2.6107140F+07	D=	2.030000
F=	45.4251	DEN=	2.5474620F+07	D=	2.040000

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R ₀)	
F=	44.02816	DEN=	2.4809432E+07	D=	7.050909
F=	44.24281	DEN=	2.4105750E+07	D=	7.060909
F=	43.06079	DEN=	2.3542760E+07	D=	7.070909
F=	43.10585	DEN=	2.2930682E+07	D=	7.080909
F=	42.55371	DEN=	2.2355770E+07	D=	7.090909
F=	42.01209	DEN=	2.1790322E+07	D=	7.100909
F=	41.48070	DEN=	2.1242640E+07	D=	7.119909
F=	40.95940	DEN=	2.0712088E+07	D=	7.120909
F=	40.44709	DEN=	2.0198070E+07	D=	7.130909
F=	39.94000	DEN=	1.9699060E+07	D=	7.140909
F=	39.45350	DEN=	1.9217022E+07	D=	7.150909
F=	38.97005	DEN=	1.8748950E+07	D=	7.160909
F=	38.49552	DEN=	1.8295120E+07	D=	7.170909
F=	38.02970	DEN=	1.7855030E+07	D=	7.180909
F=	37.57237	DEN=	1.7428188E+07	D=	7.190909
F=	37.12330	DEN=	1.7014122E+07	D=	7.200909
F=	36.68247	DEN=	1.6612304E+07	D=	7.210909
F=	36.24952	DEN=	1.6222369E+07	D=	7.220909
F=	35.82433	DEN=	1.5844230E+07	D=	7.230909
F=	35.40722	DEN=	1.5476988E+07	D=	7.240909
F=	34.99052	DEN=	1.5120455E+07	D=	7.250909
F=	34.58357	DEN=	1.4774260E+07	D=	7.260909
F=	34.18670	DEN=	1.4438071E+07	D=	7.270909
F=	33.79964	DEN=	1.4111153E+07	D=	7.280909
F=	33.42260	DEN=	1.3794324E+07	D=	7.290909
F=	33.05512	DEN=	1.3486612E+07	D=	7.300909
F=	32.69800	DEN=	1.3188605E+07	D=	7.310909
F=	32.35146	DEN=	1.2899509E+07	D=	7.320909
F=	32.01420	DEN=	1.2619001E+07	D=	7.330909
F=	31.68691	DEN=	1.2347664E+07	D=	7.340909
F=	31.36905	DEN=	1.2085702E+07	D=	7.350909
F=	30.95940	DEN=	1.1833224E+07	D=	7.360909
F=	30.55865	DEN=	1.1589732E+07	D=	7.370909
F=	30.26908	DEN=	1.1355732E+07	D=	7.380909
F=	29.98470	DEN=	1.1130720E+07	D=	7.390909
F=	29.70359	DEN=	1.0914158E+07	D=	7.400909
F=	29.42524	DEN=	1.0706125E+07	D=	7.410909
F=	29.15002	DEN=	1.0506920E+07	D=	7.420909
F=	28.87701	DEN=	1.0316738E+07	D=	7.430909
F=	28.60551	DEN=	0.9668414.	D=	7.440909
F=	28.33405	DEN=	0.764053.	D=	7.450909
F=	27.83720	DEN=	0.566828.	D=	7.460909
F=	27.35511	DEN=	0.375876.	D=	7.470909
F=	27.27667	DEN=	0.185033.	D=	7.480909
F=	27.00477	DEN=	0.002840.	D=	7.490909
F=	26.73562	DEN=	8024477.	D=	7.500909
F=	26.47082	DEN=	8050671.	D=	7.510909
F=	26.21039	DEN=	8481290.	D=	7.520909
F=	25.95404	DEN=	9310203.	D=	7.530909
F=	25.70171	DEN=	8155282.	D=	7.540909
F=	25.45330	DEN=	7990402.	D=	7.550909
F=	25.20874	DEN=	7645430.	D=	7.560909
F=	24.96705	DEN=	7600202.	D=	7.570909
F=	24.73097	DEN=	7350816.	D=	7.580909
F=	24.49042	DEN=	7400932.	D=	7.590909
F=	24.25615	DEN=	7270525.	D=	7.600909

TABELA B - Continuação

FREQUÊNCIA		DENSIDADE		DISTÂNCIA (R _☉)	
F=	24.04111	DEN=	7135496.	D=	2.610909
F=	23.061612	DEN=	70013743.	D=	2.620909
F=	23.30650	DEN=	6675177.	D=	2.630909
F=	23.38217	DEN=	6749700.	D=	2.640909
F=	23.16900	DEN=	6027227.	D=	2.650909
F=	22.95912	DEN=	6507673.	D=	2.600909
F=	22.75230	DEN=	6390953.	D=	2.670909
F=	22.34652	DEN=	6270907.	D=	2.680909
F=	22.34774	DEN=	6165699.	D=	2.690909
F=	22.14989	DEN=	6057011.	D=	2.700909
F=	21.95494	DEN=	5950854.	D=	2.710909
F=	21.76280	DEN=	5847155.	D=	2.720909
F=	21.57344	DEN=	5745845.	D=	2.730909
F=	21.38681	DEN=	5646861.	D=	2.740909
F=	21.20296	DEN=	5550138.	D=	2.750909
F=	21.02153	DEN=	5455613.	D=	2.700909
F=	20.84276	DEN=	5363227.	D=	2.770909
F=	20.66650	DEN=	5272023.	D=	2.780909
F=	20.49283	DEN=	5182642.	D=	2.790909
F=	20.32154	DEN=	5095332.	D=	2.800909
F=	20.15264	DEN=	5010032.	D=	2.810909
F=	19.98610	DEN=	4931612.	D=	2.820908
F=	19.82197	DEN=	4851700.	D=	2.830908
F=	19.66092	DEN=	4771759.	D=	2.840908
F=	19.50019	DEN=	4694558.	D=	2.850908
F=	19.34266	DEN=	4610996.	D=	2.800908
F=	19.18726	DEN=	4545062.	D=	2.870908
F=	19.03401	DEN=	4472760.	D=	2.880908
F=	18.88292	DEN=	4401967.	D=	2.890908
F=	18.73347	DEN=	4332722.	D=	2.900908
F=	18.58653	DEN=	4264927.	D=	2.910908
F=	18.44136	DEN=	4196566.	D=	2.920908
F=	18.29812	DEN=	4133598.	D=	2.930908
F=	18.15680	DEN=	4069991.	D=	2.940908
F=	18.01734	DEN=	4007710.	D=	2.950908
F=	17.87972	DEN=	3946720.	D=	2.900908
F=	17.74391	DEN=	3886991.	D=	2.970908
F=	17.60997	DEN=	3828690.	D=	2.980908
F=	17.47758	DEN=	3771164.	D=	2.990908

Fonte: M.Pick - Observatório de Meudon - França

APÊNDICE C-

INTERVALO INTEIRO DA ATIVIDADE SOLAR DE SPIKES DE MILISEGUNDOS
OBSERVADOS PELO GRUPO DE TRIESTE ITÁLIA

