

ESTUDO DA EVOLUÇÃO ESPECTRAL DE RADIOFONTES EXTRAGALÁCTICAS

Márcio Ribeiro Gastaldi¹ (Instituto Presbiteriano Mackenzie, bolsista PIBIC/CNPQ)

Dr. Luiz Claudio Lima Botti² (CRAAM/INPE)

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2001, tem como objetivo o estudo da evolução espectral de radiofontes extragalácticas, tais como quasares e objetos bl lacertae, utilizando dados coletados dos rádio-observatórios do itapetinga (brasil) em 22 e 43 ghz, de michigan (usa) em 4,8; 8,0 e 14,5 ghz, de metsahovi (finlândia) em 37 e 90 ghz e do sest (chile) em 90 e 230 ghz. para complementar esse trabalho faz-se necessário obter dados no óptico, infravermelho, ultravioleta, raios-x e raios gama de modo que se tenha uma idéia do comportamento do espectro como um todo. com este objetivo uma pesquisa preliminar foi iniciada, utilizando informações da literatura e internet. a partir dessa coleta de dados em todo espectro eletromagnético, foi possível fazer uma estimativa inicial da evolução temporal do espectro de 25 radiofontes. como parte importante desse trabalho de iniciação científica, foi dado destaque à aprendizagem do método científico, desde a primeira etapa de observação, passando pela coleta e aquisição de dados e conseqüente análise dos mesmos. os resultados parciais obtidos foram: início do aprendizado do funcionamento do radiotelescópio do itapetinga, das técnicas de observação, calibração do sistema, aquisição de dados e sua análise para cada fonte observada. dos dados observados no rádio-telescópio de michigan em 4,8; 8,0 e 14,5 ghz, bem como no sest em 90 e 230 ghz, obteve-se espectros em sucessivas épocas, em períodos da ordem do mês e alguns parâmetros foram estimados, tais como densidade de fluxo máxima, freqüência correspondente à densidade de fluxo máxima e índices espectrais relativos às partes opticamente fina e espessa do espectro para cada radiofonte. para determinar a evolução espectral das radiofontes, foram obtidos espectros de comparação, a partir dos dados de kuhr et al. (1981)³, sendo possível notar a evolução temporal destes em um período de cerca de vinte anos. como conclusão parcial observamos que: no intervalo de freqüências estudado (4,8 a 230 ghz), as componentes de freqüência mais alta – relacionadas às regiões mais internas de emissão da radiofonte - apresentam maior amplitude de variabilidade; a freqüência de pico, situa-se entre 20 e 40 ghz; os espectros planos que se verificam para algumas fontes são uma superposição de diversas componentes e muitas das radiofontes estudadas possuem espectro de lei de potência acima de 20- 40 ghz, que corresponde à parte opticamente fina do espectro. Para a próxima etapa deste trabalho, observações serão feitas no observatório do itapetinga em 22 e 43 ghz com a técnica de varreduras e um espectro total será obtido para cada fonte, com os dados obtidos na literatura em óptico, infravermelho, ultravioleta, raios-x e raios gama.

1 Aluno do curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie – Rua da Consolação, 896, 01302-907 – marciogastaldi@ig.com.br

2 Pesquisador do Centro de Radioastronomia e Astrofísica Mackenzie. Rua da Consolação, 896, 01302-907 - botti@tayi.craam.mackenzie.br

3 KUHR, H; WITZEL, A; PAULINY-TOTH, I.I.K; NAUBER, U. A Catalogue of Extragalactic Radio Sources Having Flux Densities Greater than 1 Jy at 5 GHz, Astronomy and Astrophysics Supplement Series, vol. 45, sept.1981, p367-430.

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO ESPECTRAL DE RADIOFONTES
EXTRAGALÁCTICAS**

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

**Márcio Ribeiro Gastaldi (Mackenzie, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: marciogastaldi@ig.com.br**

**Dr. Luiz Claudio Lima Botti (CRAAM/INPE, Orientador)
E-mail: botti@tayi.craam.mackenzie.br**

Junho de 2002

SUMÁRIO

1 – AGRADECIMENTOS

2 – INTRODUÇÃO

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 AGNs

3.2 O MODELO UNIFICADO

3.3 PROCESSOS RADIATIVOS

4 – METODOLOGIA

4.1 PROGRAMA DE ATIVIDADES

4.2 DESCRIÇÃO GERAL DO EQUIPAMENTO UTILIZADO E TÉCNICA OBSERVACIONAL

4.2.1 ITAPETINGA

4.2.2 SEST

4.2.3 METSÄHOVI

4.2.4 CRIMEA

5 – RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 APRESENTAÇÃO DAS FONTES

5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS E PARÂMETROS OBTIDOS

6 – CONCLUSÕES

7 - TRABALHOS FUTUROS

8 - SEMINÁRIOS APRESENTADOS

9 - SEMINÁRIOS ASSISTIDOS

10 - CURSOS EM ANDAMENTO

11 - REFERÊNCIAS

1 - AGRADECIMENTOS

Desejamos expressar nossa gratidão ao programa PIBIC/CNPq que tornou possível a realização deste trabalho.

2 - INTRODUÇÃO

Este projeto, iniciado em agosto de 2001, é um trabalho de colaboração entre pesquisadores do Brasil, Estados Unidos, Chile, Finlândia e Rússia e tem como objetivo o estudo da evolução espectral de radiofontes extragalácticas, tais como quasares e objetos BL Lacertae, utilizando dados coletados dos radio-observatórios do Itapetinga (Brasil) em 22 e 43 GHz, de Michigan (USA) em 4,8; 8,0; 14,5 GHz, de Metsahovi (Finlândia) em 37 e 90 GHz, do SEST (Chile) em 90 e 230 GHz e CRIMEA (Rússia) em 37 GHz. Para complementar este trabalho faz-se necessário obter dados no óptico, infravermelho, ultravioleta, raios-x e raios gama de modo que se tenha uma idéia do comportamento do espectro como um todo. Com este objetivo uma pesquisa preliminar foi iniciada, utilizando informações da literatura e internet. A partir dessa coleta de dados em todo o espectro eletromagnético, foi possível fazer um estudo inicial da evolução temporal do espectro de 25 radiofontes observáveis no Hemisfério Norte e no Hemisfério Sul. Como parte importante deste trabalho de Iniciação Científica, foi dado destaque à aprendizagem do método científico, desde a primeira etapa de observação, passando pela coleta e aquisição de dados e conseqüente análise dos mesmos.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 - AGNs

Quasares, objetos BL Lacertae, galáxias Seyfert, objetos quase-estelares (QSOs) e Rádio-galáxias enquadram-se numa classe que ficou conhecida como galáxias com núcleo ativo (AGNs). A principal característica das galáxias com núcleo ativo é o fato de que sua luminosidade flutua (aumenta ou diminui) num período de meses, semanas ou mesmo dias. Além disso, esses fenômenos são os mais intensos em termos de emissão contínua de energia que se conhece (veja tabela 3.1).

Objeto	Potência emitida (watts)
Sol	4×10^{26}
Via Láctea	10^{37}
Quasares	$10^{38} - 10^{42}$

Tabela 3.1: Comparação da potência emitida por diferentes fenômenos na Natureza.

Quando estudamos estes fenômenos em variadas frequências podemos formar um espectro, que mostra o fluxo de energia emitida em cada frequência estudada. Galáxias normais exibem um espectro com linhas de absorção, correspondentes à absorção de fótons devido ao material

interestelar. AGNs, no entanto, exibem linhas de emissão. Além disso, devido ao efeito da expansão do Universo, há o chamado redshift cosmológico que faz com que os comprimentos de onda da radiação que é emitida por um objeto em alta velocidade se “estiquem” (ver figura 3.1). As velocidades de afastamento envolvidas no caso das AGNs são relativísticas, ou seja, comparáveis à velocidade da luz.

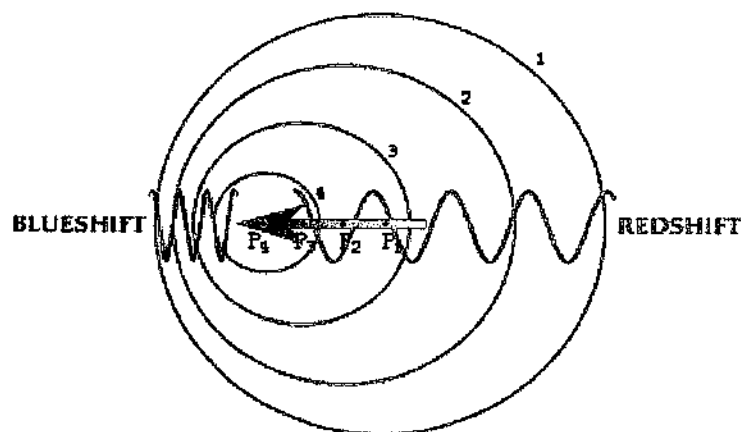


Figura 3.1: Efeito Doppler. A fonte emissora move-se no sentido mostrado pela flecha. Note o efeito de “esticamento” do comprimento de onda de P4 para P1, caracterizando o chamado redshift.

A expansão do Universo é o resultado da criação de espaço-tempo a partir do Big-bang. Para grupos de objetos próximos este efeito é minimizado ou imperceptível devido à própria proximidade. Para objetos muito distantes, ao contrário, verifica-se o exposto acima. As AGNs de que temos falado localizam-se a bilhões de anos-luz. A fórmula para o cálculo do redshift relativístico é dada abaixo:

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1$$

onde: z é o redshift do objeto

v é a velocidade aparente do objeto em relação ao observador

c é a velocidade da luz

Uma consequência disso é o fato de que, olhando para esses objetos distantes, estamos vendo um passado distante. De acordo com pesquisadores, esse tipo de fenômeno era comum na infância do Universo¹, daí a importância do estudo dos Quasares: podemos entender melhor a evolução do Universo. A tabela 3.2 ilustra a relação entre redshift e distância.

Z	v/c	distância (10 ⁹ anos-luz)	distância (Mpc)
0.00	0.00	0.00	0
0.10	0.10	1.2	400
0.25	0.22	2.9	900

¹ No entanto, há pesquisadores que defendem a idéia de que existem micro-quasares localizados a distâncias bem menores, fazendo parte, portanto, de um contexto bem mais atual na história do Universo.

0.50	0.38	5.0	1500
0.75	0.51	6.6	2000
1.00	0.60	7.8	2400
1.50	0.72	9.4	2900
2.00	0.80	10.4	3200
3.00	0.88	11.5	3500
4.00	0.92	12.0	3700
5.00	0.95	12.3	3800
infinito	1.00	13.0	4000

Tabela 3.2 : Relação entre redshift e distância.

3.2 - O MODELO UNIFICADO

AGN é um termo que define um fenômeno bastante amplo. De acordo com a Teoria do Modelo Unificado, Quasares, objetos BL Lacertae, galáxias Seyfert, objetos quase-estelares e Rádio-galáxias são um único fenômeno visto num ângulo e/ou estágio diferente de evolução. A idéia é que a AGN é composta por um buraco negro supermassivo com um forte campo gravitacional e magnético, ao redor do qual há um disco de acreção (matéria orbitando). Devido à Lei de Conservação do Momento Angular, nem toda a matéria em órbita alcança o buraco negro. O resultado é o seguinte: uma grande concentração de matéria espiralando e orbitando em velocidades tangenciais diferentes nas proximidades do horizonte de eventos interagindo com os fortes campos magnéticos e gerando 2 jatos opostos e perpendiculares ao disco de acreção. A diferença básica no que diz respeito aos diferentes tipos de objeto é, portanto, o posicionamento do observador em relação ao jato expelido. A tabela 3.3 mostra a diferença de potência emitida e comportamento em rádio para Quasares, galáxias Seyfert, objetos quase-estelares(QSOs) e Rádio-galáxias.

Objeto	Potência emitida (watts)	Comportamento em rádio
galáxias Seyfert	$10^{36} - 10^{38}$	silencioso
Rádio-galáxias	$10^{36} - 10^{38}$	ativo
QSOs	$10^{38} - 10^{42}$	silencioso
Quasares	$10^{38} - 10^{42}$	ativo

Tabela 3.3: Comparação da potência irradiada e do comportamento em rádio-freqüências para galáxias Seyfert, Rádio-galáxias, objetos quase-estelares (QSOs) e Quasares.

Os fenômenos acima descritos também são achados em grupos de galáxias e dentro de galáxias hospedeiras. Os QSOs são predominantes em galáxias espirais e as Rádio-galáxias, em galáxias elípticas.

Como pode ser observado, as Rádio-galáxias e galáxias Seyfert formam uma ponte entre as galáxias normais e os Quasares e QSOs. Foi descoberto que o centro de determinadas galáxias se comportam como quasares de baixa luminosidade.

3.3 - PROCESSOS RADIATIVOS

Estrelas e galáxias comuns têm sua emissão de energia baseada em processos térmicos, o que resulta em um espectro de corpo negro.

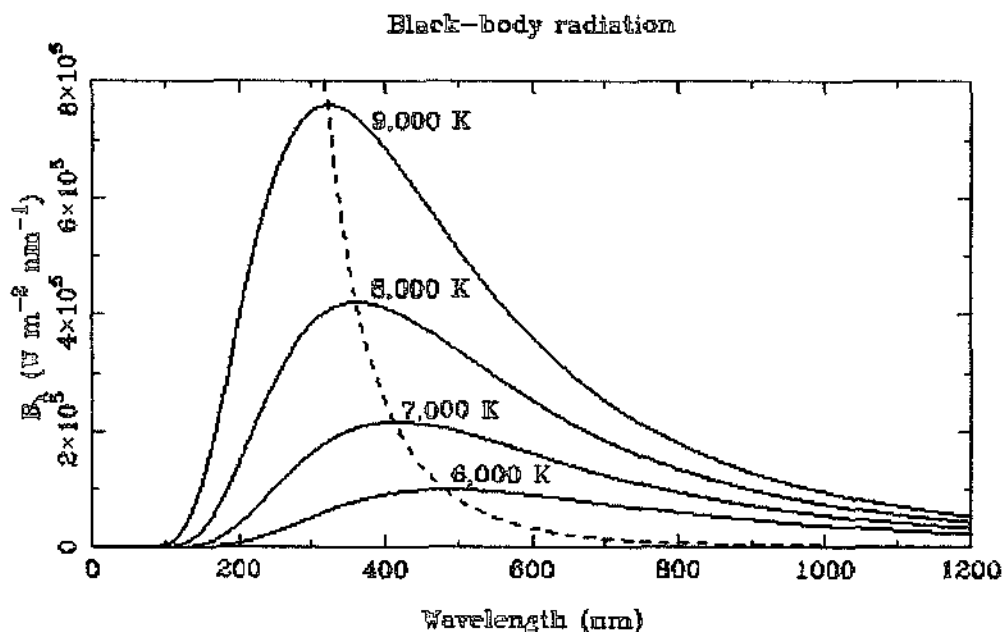


Figura 3.2: Espectro característico da radiação de corpo negro mostrando a radiação para corpos aquecidos a 4 diferentes temperaturas. A linha pontilhada mostra a Lei de Wien.

O principal mecanismo de radiação para AGNs é o sincrotrônico, um processo não-térmico de geração de energia. A emissão de radiação se dá a partir de uma população de elétrons se movimentando numa velocidade relativística através de uma trajetória circular ao longo do jato. Um elétron é levado a emitir ondas eletromagnéticas sempre que tem sua velocidade alterada. Isto se dá devido à aceleração centrípeta. A radiação é emitida num feixe estreito cuja abertura varia com a velocidade tangencial da partícula. O intervalo de frequências em que a partícula emite é diferente da frequência de rotação (diferentemente da giro-emissão, caso em que a frequência de emissão é igual à frequência de rotação da partícula). A figura 3.3 ilustra o processo:

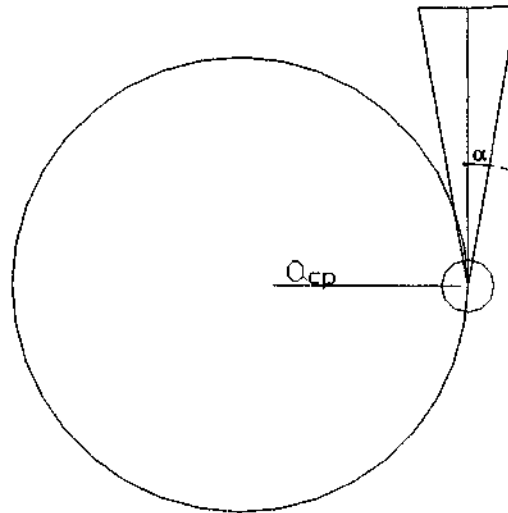


Figura 33: Esquema que ilustra o processo de emissão eletromagnética para giro-emissão, emissão giro-sincrotrônica e sincrotrônica. A diferença é dada pela velocidade tangencial da partícula. a_{cp} é a aceleração centrípeta e α é o ângulo de abertura na emissão.

O ângulo de abertura α é dado por

$$\alpha = \frac{1}{\gamma}$$

onde α é o ângulo de abertura e γ é o fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

β é a relação

$$\beta = v/c$$

v é a velocidade tangencial da partícula e c é a velocidade da luz.

4 - Metodologia

4.1 - Programa de atividades

1. Fazer observações no Itapetinga de fontes calibradoras como Júpiter, Vênus, Virgo A e G298.2-03, tendo-se o cuidado de se observar a calibradora mais próxima da radiofonte em estudo, para se obter condições semelhantes de céu.
2. A técnica utilizada será a de varreduras. Cada varredura terá a duração de 20s. Cada observação terá 30 varreduras. Para a obtenção da temperatura de antena da radiofonte serão necessárias 12

observações em 22 e 43 GHz, para radiofontes com densidade de fluxo baixa (<1 Jy). Fontes mais fortes requerem menor tempo de integração.

3. O apontamento precisará ser verificado e para isso serão feitas varreduras em azimute e elevação das fontes calibradoras e as fontes alvo mais fortes e pontuais (>30 Jy).
4. A calibração do sistema será feita com um load externo, um tubo de ruídos (noise tube) e uma fonte de ruídos (noise source) com temperaturas conhecidas. Também será utilizado nitrogênio líquido para que os parâmetros do sistema sejam bem determinados. Sendo assim, será possível conhecer a temperatura do sistema com precisão.
5. Medidas da profundidade óptica também deverão ser estimadas.
6. Análise dos dados do radiotelescópio de Michigan em 4,8, 8 e 14,5 GHz.
7. Análise dos dados do SEST, Metsähovi e CRIMEA em 37, 90 e 230 GHz.
8. Obtenção de espectros em sucessivas épocas, em períodos da ordem de mês, para se compreender sua evolução.

4.2 - Descrição geral do Equipamento Utilizado e da Técnica Observacional

4.2.1 - O rádio-telescópio de Itapetinga

O rádio-observatório de Itapetinga possui receptores nas frequências de 22, 30, 43 e 90 GHz, sendo as frequências de 22 e 43 GHz as mais utilizadas.

Também há um receptor criogênico que trabalha entre as frequências de 21,7 e 24,1 GHz.

O rádio-telescópio tem um prato parabólico refletor de 13,7m de diâmetro, tendo desenho Cassegrain e montagem altazimutal. Encontra-se no interior de uma redoma de 22 metros de diâmetro, fabricada de plástico especial que reduz consideravelmente o desgaste, pela ação do tempo, dos componentes da antena e facilita a estabilidade de apontamento, evitando as deformações devido à variações de temperatura.

As cornetas utilizadas de 22 e 43 GHz são retangulares e sensíveis à componente vertical do vetor campo elétrico. As larguras à meia potência são 4,2' e 2,1' em 22 e 43 GHz, respectivamente. Os receptores tem 1 GHz de banda lateral dupla e temperatura de sistema da ordem de 700 K. Com essa temperatura de sistema e a banda utilizada, é possível detectar radiofontes com densidade de fluxo de 1 Jy, em duas horas de observação. A técnica utilizada é a de varreduras ("scan"), que consiste em varrer com o feixe da antena a radiofonte. Cada "scan" tem a duração de 20s. Neste tempo integra-se sobre a fonte por cerca de 6s. O restante do tempo é utilizado para frear a antena e obter medidas do céu em torno da fonte.

É utilizado o método "Total Power", ou seja, mediu-se a potência total de ruído da fonte e do receptor, cujos amplificadores têm resposta linear. Para se obter uma determinação precisa da temperatura de antena correspondente à radiofonte, é necessário fazer uma calibração, utilizando-se uma carga (LOAD), um tubo de ruído (NT) ou uma fonte de ruído (NS). Os dados são analisados com o

programa DRAWSPEC, que fornece a temperatura máxima de antena, o feixe da antena, etc., fazendo-se ajustes da linha de base, polinômios e gaussianas.

Como os dados recebidos pelo rádio-telescópio não estão no formato DRAWSPEC, são convertidos por outro programa.

Diagrama em blocos do receptor

O primeiro estágio na detecção do sinal é um dispositivo de microondas projetado especificamente para a parábola para a frequência em estudo, que irá coletar a energia refletida por esta, sendo constituído de um guia de onda que tem forma de pirâmide, a "cometa" (1). Após a cometa, há o amplificador de rádio-frequência (2), que possui baixo ganho e amplifica até dez vezes o sinal. Outro elemento importante é o misturador (3), que fará o produto entre o sinal de rádio-frequência com o do oscilador local (4), resultando em uma frequência intermediária mais baixa. Um atenuador (5) situa-se entre o oscilador local e o misturador. Acoplado ao misturador, há um pré-amplificador de 30dB. Geralmente ambos ficam na mesma caixa para evitar perdas de sinal. O oscilador local gera um sinal com potência entre 1 e 100mW. Após este estágio existe um atenuador (7) que isola o amplificador de FI (8) do pré-amplificador (6). Sua função principal é acertar a faixa de trabalho do detector quadrático. Um amplificador de ganho 60dB também fornece um nível adequado para o receptor quadrático (9). Nesse estágio o sinal já apresenta uma voltagem adequada para ser medida. No próximo estágio há um amplificador (10) de 40dB que tem baixo nível de ruído, com banda passante de alguns KHz. No estágio seguinte (11) subtrai-se a voltagem correspondente ao sistema e aumenta-se o ganho de 40dB (12) obtendo-se a voltagem correspondente ao sinal da fonte, onde pode ser integrado através de um filtro cujo efeito pode ser obtido por um integrador com constante de tempo de aproximadamente 50ms. O sistema de aquisição de dados é realizado no estágio 13. O sinal de referência (14) pode ser uma carga (load) à temperatura ambiente como um tubo de ruído (noise tube) ou uma fonte de ruído (noise source) de temperatura conhecida.

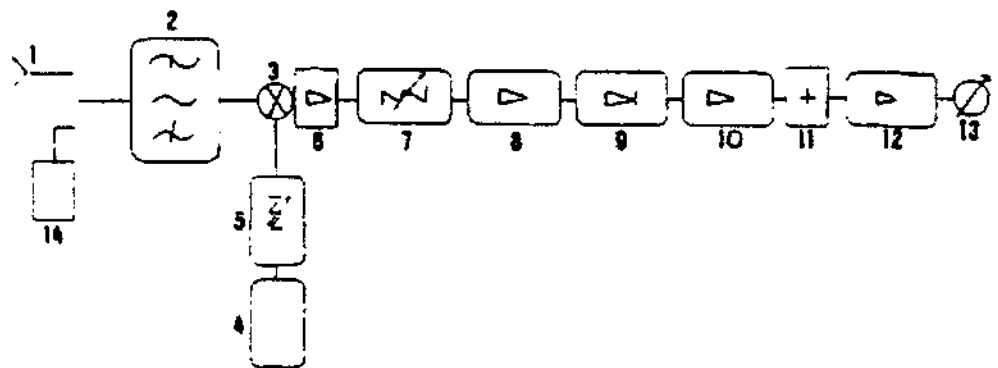


Figura 4.1: Diagrama em blocos do receptor de Itapetinga.

4.2.2 - SEST

As medidas em 100 e 230 GHz foram realizadas usando o SEST (Swedish-ESO Submillimetre Telescope). O SEST é uma antena de 15 metros, tipo Cassegrain que está localizada no Observatório Meridional Europeu (ESO) em La Silla, Chile a uma altitude de 2400 m e 29 graus de latitude Sul. Detalhes sobre o SEST podem ser encontrados em Booth et al. (1989)² e ESO (1993)³.

4.2.3 - METSÄHOVI

As observações feitas através do radio-telescópio de Metsähovi durante maio de 1985 até maio de 1990 foram realizadas com o uso de receptores de 22, 37 e 87 GHz. Informações técnicas sobre os receptores são dadas na tabela 4.1. Todas as observações tiveram como referência de calibração a fonte DR21. A densidade de fluxo de DR21 é 19,0 Jy em 22,2 GHz e 17,9 Jy em 36,8 GHz de acordo com Baars (1977). Em 87 GHz, a densidade de fluxo de DR21 é 17,0 Jy de acordo com Ulich (1981). Calibrações secundárias incluem a rádio fonte 3C 274 e os planetas Marte, Júpiter e Saturno. As mensurações de fluxo foram feitas utilizando a técnica ON-ON.

Frequência	HPBW	Separação dos feixes	B (IF)	T _{sys}
22,2 GHz	4,0'	12'	1000 MHz	850K DSB
36,8 GHz	2,4'	6,0'	1000 MHz	500K DSB
87,3 GHz	1,1'	3,2'	500 MHz	200K DSB

Tabela 4.1: Parâmetros do sistema receptor de Metsähovi. *Frequência* significa a frequência média do receptor. *B (IF)* mostra a banda passante. *T_{sys}* é a temperatura total de ruído, que inclui o ruído do receptor, redoma e da atmosfera.

4.2.4 - CRIMEA

Dois diferentes radiômetros foram utilizados para as medidas em 37 GHz de 1985 a 1989. A banda passante é de 300 MHz e a temperatura de ruído é de 350 K. A mensuração do fluxo foi feita usando a técnica ON-ON. Duas cornetas foram utilizadas para um plano de polarização ortogonal no caso das fontes emissoras apresentarem polarização linear. As temperaturas obtidas na antena foram convertidas para densidade de fluxo usando os resultados da observação de calibração através das fontes DR21, 3C274, Júpiter e Saturno.

² Booth R. S., Delgado G., Hagström M., et al., 1989, A&A 216,315.

³ European Southern Observatory Operating Manual No. 19 - August 1993, "The SEST Handbook", p. 69.

5 - RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 - APRESENTAÇÃO DAS FONTES

A tabela 5.1 mostra a lista das fontes estudadas. A coluna 1 mostra o nome da radiofonte de acordo com suas coordenadas (ascensão reta e declinação); a coluna 2 dá o nome, quando existente, pelo qual a radiofonte é conhecida em outros catálogos; a coluna 3 mostra o tipo de AGN estudada; a coluna 4 mostra, quando disponível, a magnitude visual e a coluna 5 dá o redshift, quando disponível.

Fonte	Outro nome	Tipo	Magnitude Visual	Redshift
0003-066	-	BL Lac	-	-
0007+106	III ZW2	QSO	-	0,089
0016+731	-	-	-	-
0022+638	3C 10	-	-	-
0040+517	3C 20	-	-	-
0048-097	PKS, OB-080	BL Lac	16, 6-17,3	-
0059+581	-	-	-	-
0106+013	OC 012	QSO	-	2,107
0108+388	-	-	-	-
0109+224	-	BL Lac	17,2	-
0127+233	3C 43	-	-	-
0134+375	3C 48	-	-	-
0153+744	-	-	-	-
0202+149	-	-	-	-
0212+735	-	-	-	-
0215+015	ODO 26, PKS	-	15,7-19,5	1,649
0218+357	-	-	-	-
0219+428	3C 66 A	-	15,15-15,5	0,444
0220+427	3C 66 B	-	-	-
0234+285	CTD 20	QSO	-	1,207
0300+470	OE 400, 4C47.08	-	18	-
0306+102	OE 110, PKS	-	-	-
0315+416	3C 83.1	-	-	-
0333+321	NRAO 140	QSO	-	1,263
0521-365	PKS	-	14-16	0,0553

Tabela 5.1: Apresentação das radiofontes associadas.

5.2 - PROCESSAMENTO DOS DADOS E PARÂMETROS OBTIDOS

Segue uma lista dos gráficos de Densidade de Fluxo X Tempo, seus respectivos espectros, uma comparação com o espectro obtido de forma diversa, como será discutido posteriormente, em Kühr et al. (1981) e interpretações preliminares sobre o ciclo de atividade anual dessas radiofontes. Existirão fontes cujos espectros serão interpretados unicamente tendo em vista os resultados obtidos a partir de Michigan, visto que não constam do catálogo de Kühr et al. (1981). Esta é a etapa realizada nos primeiros 6 meses de pesquisa. Mostraremos, em seguida, um estudo da evolução mensal do espectro das radiofontes estudadas, o que corresponde à conclusão do primeiro ano de trabalho.

0007+106

A primeira fonte estudada foi a fonte de coordenadas 0007+106. Começamos por uma fonte que não consta do catálogo acima mencionado. Será, portanto, analisada em 3 frequências. Vejamos os resultados.

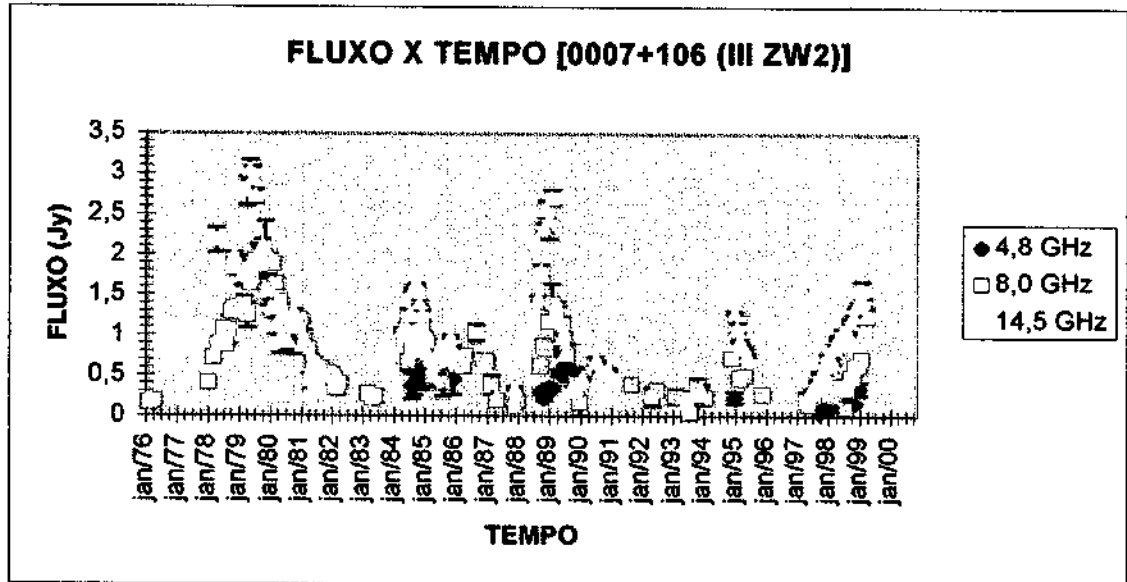


Figura 5.2.1: Gráfico de Densidade de Fluxo X Tempo 0007+106 (Michigan)

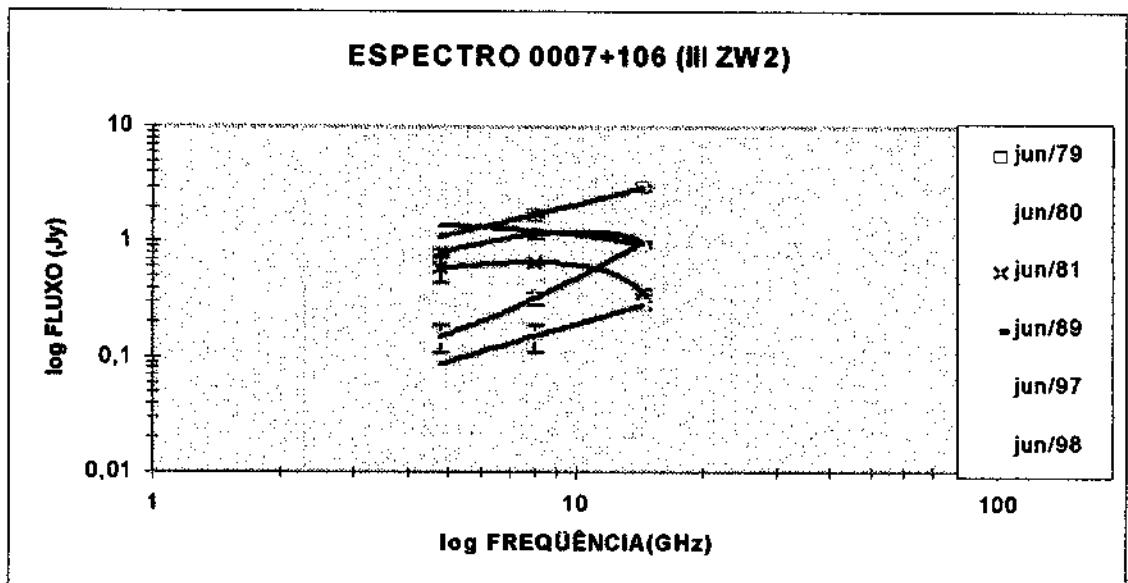


Figura 5.2.2: Espectro 0007+106 (Michigan).

Como podemos notar pela figura 5.2.1, a radiofonte 0007+106 exibe uma densidade de fluxo da escala de 0 a 3,5 Jy, variando de intensidade proporcionalmente com a frequência para um dado tempo e tendo seu fluxo diminuído conforme avançamos no tempo.

A figura 5.2.2 mostra o espectro de 0007+106. Foram feitas aproximações para polinomiais de grau 2. Em 1979 a radiofonte se encontra em um período de alta atividade. Avançando no tempo, como podemos notar, há uma queda de atividade, o que é evidenciado pelas curvas situadas abaixo da curva correspondente a junho de 1979.

Junho de 1981 nos dá o primeiro período de mínimo, após o qual há um novo crescimento evidenciado pela curva de 1989 que, por sua vez, será seguido pela segunda curva que evidencia um período de mínima atividade (1997), sendo esta, a curva de mínima atividade em todo o período estudado. A curva de junho de 1998 mostra um novo período de crescimento na atividade.

0048-097

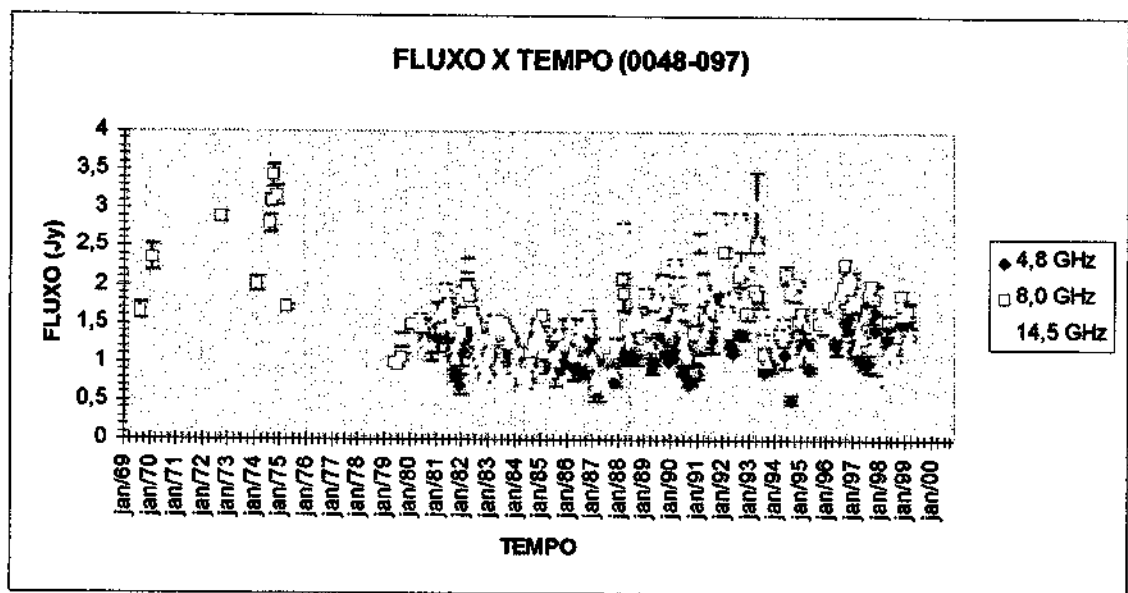


Figura 5.2.3: Gráfico de Densidade de Fluxo X Tempo 0048-097 (Michigan)

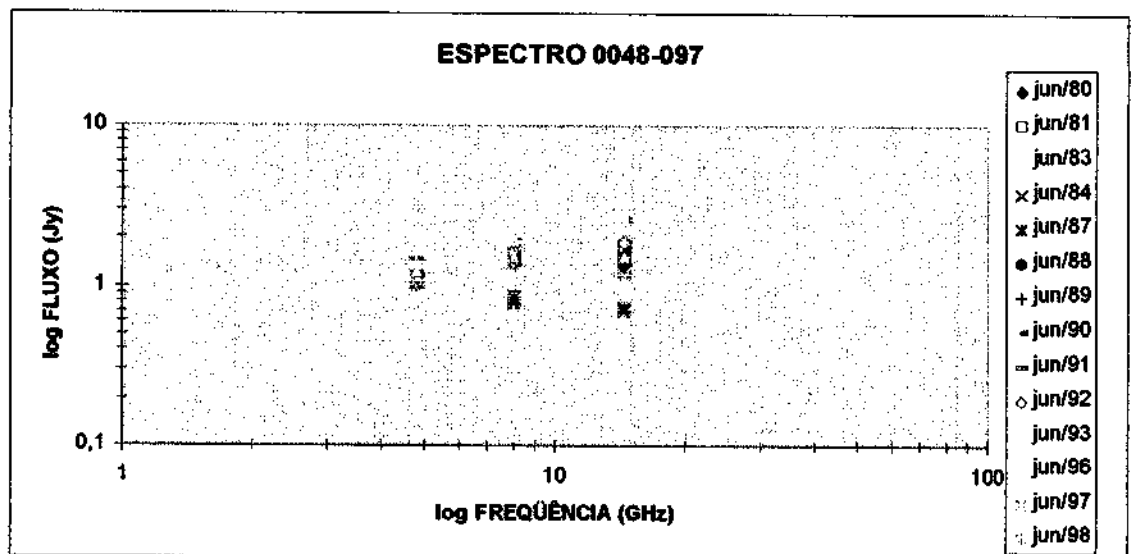


Figura 5.2.4: Espectro 0048-097 (Michigan)

Olhando a figura 5.2.3, notamos que somente a partir de aproximadamente 1980 temos um gráfico de dispersão nas três frequências. Antes disso, tínhamos somente dados em 8 GHz. Portanto, para a obtenção de uma curva de espectro, utilizaremos os dados obtidos a partir dessa data, visto que o gráfico de espectro é Fluxo X Frequência.

Pode-se notar grande variabilidade nesta radiofonte, com amplitudes que variam de 1,5 a 2,0 Jy.

O espectro de Kühr não será utilizado nessa análise, pois nossa análise engloba dados no intervalo de tempo de 1980 até 2000. O espectro apresentado por Kühr et al., como veremos a seguir, se baseia em dados em outras épocas.

Os pontos usados para a composição do espectro em Kühr et al. foram obtidos nos seguintes catálogos e nas seguintes épocas: Sharp and Bash (1975); Kellermann and Pauliny-Toth (1968/69); Wills (1975); Wall et al. (1976); Condon et al. (1977/78); Shimmins and Wall (1973); Pauliny-Toth, Preuss and Witzel (1972); Geldzahler and Witzel (1980).

Algumas nuances presentes na figura 5.2.4 não ficam claras devido à quase sobreposição de alguns dados. Vamos desmembrar um pouco o gráfico para podermos compreendê-lo melhor.

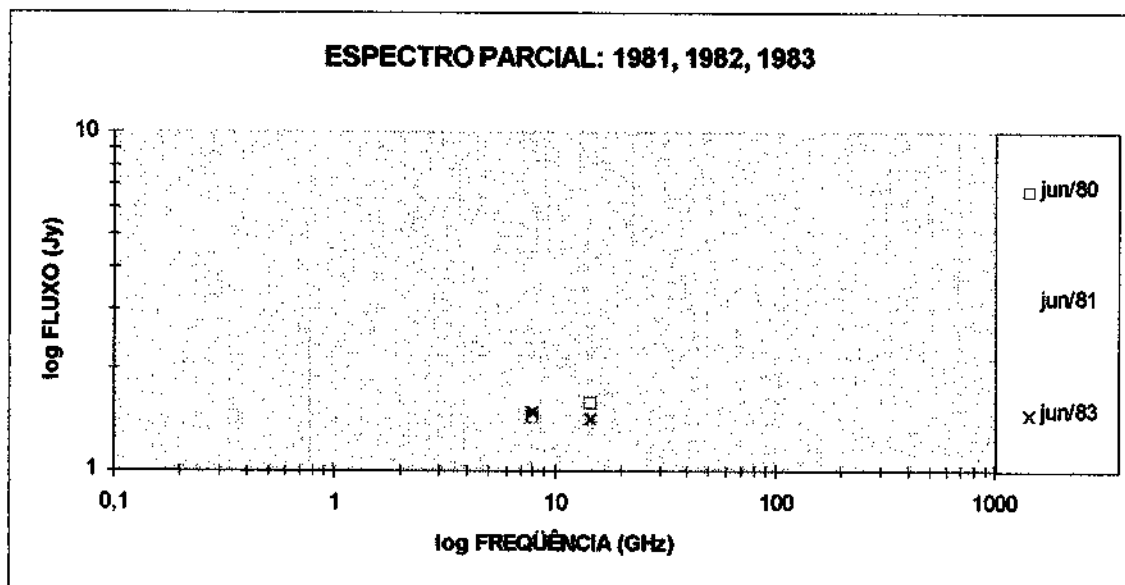


Figura 5.2.5 : Espectro parcial composto pelas três frequências de Michigan em três anos diferentes: 1980, 1981 e 1982

De 1980 para 1981, temos um crescimento na atividade, com uma nova queda evidenciada pela curva correspondente ao ano de 1983.

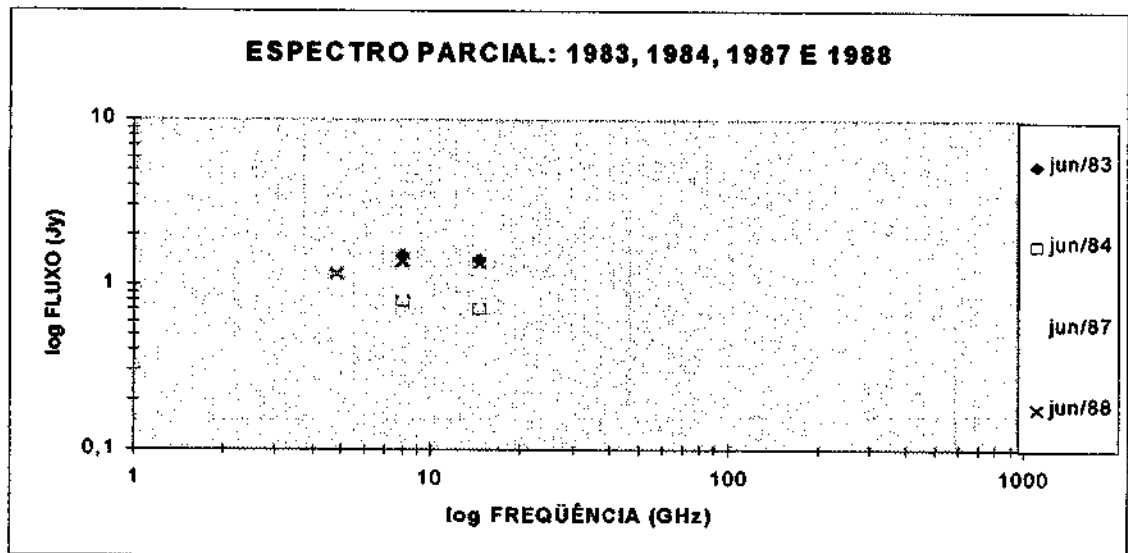


Figura 5.2.6: Continuação da série de espectros parciais para a fonte 0048-097.

Na figura 5.2.5, comparando as várias curvas sugeridas pelas diferentes datas, notamos que a tendência de decréscimo que se manifesta de 1981 para 1983 e continua de 1983 para 1984. A partir de 1984 e, seguindo a tendência expressa pela curva de 1988, notamos um crescimento na atividade.

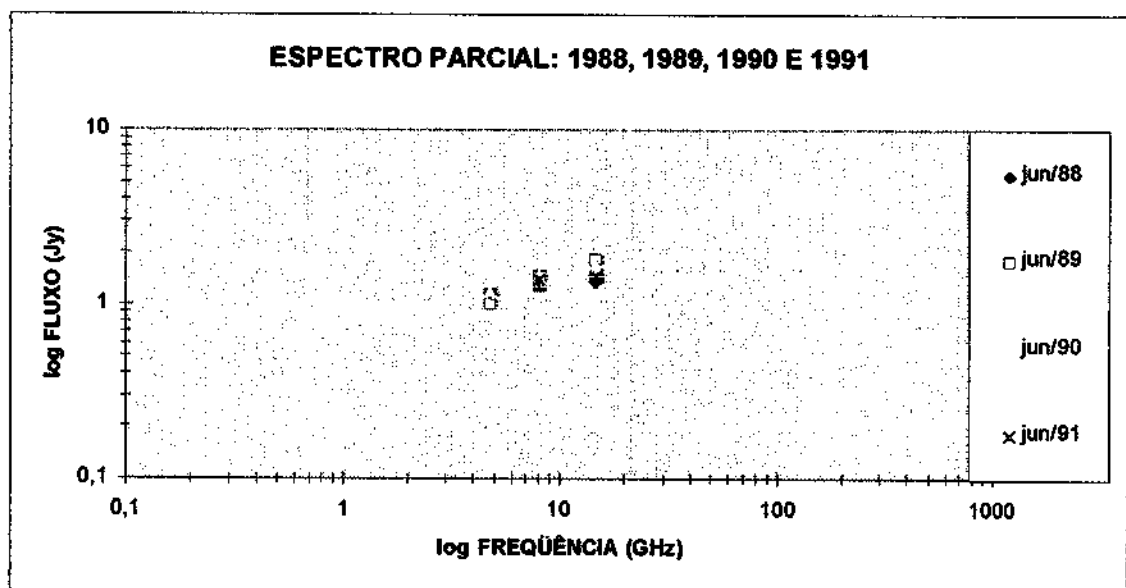


Figura 5.2.7: Continuação da série de espectros referentes à fonte 0048-097.

Este período é caracterizado por uma nova tendência de crescimento na atividade.

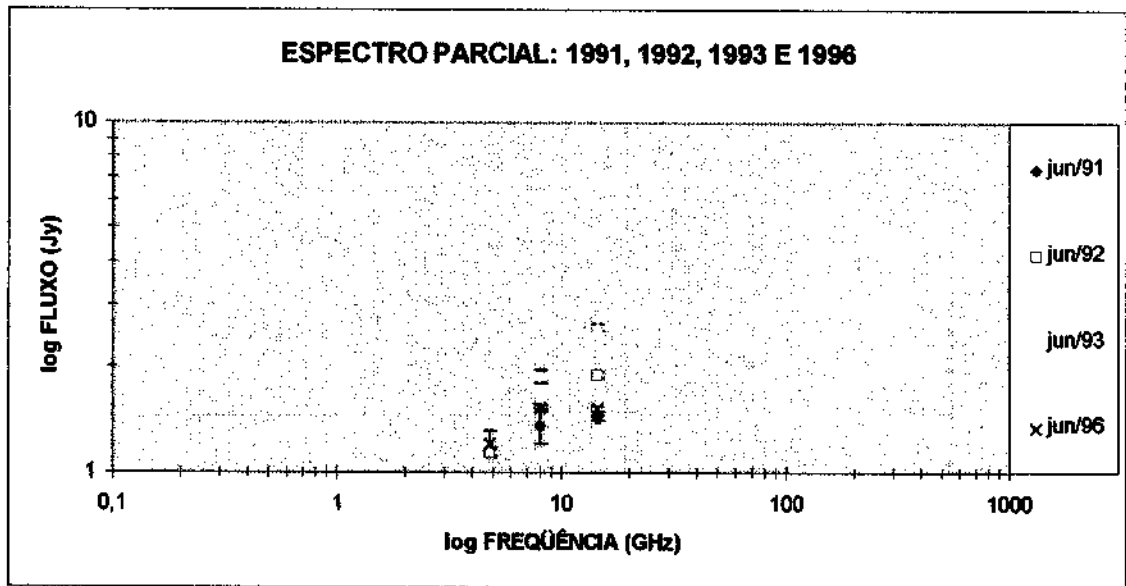


Figura 5.2.8: Continuação.

Na figura 5.2.8, a partir de 1991, a atividade se acentua, atingindo o máximo em 1993 e voltando a decrescer, o que é mostrado pela curva sugerida pelo ano de 1996.

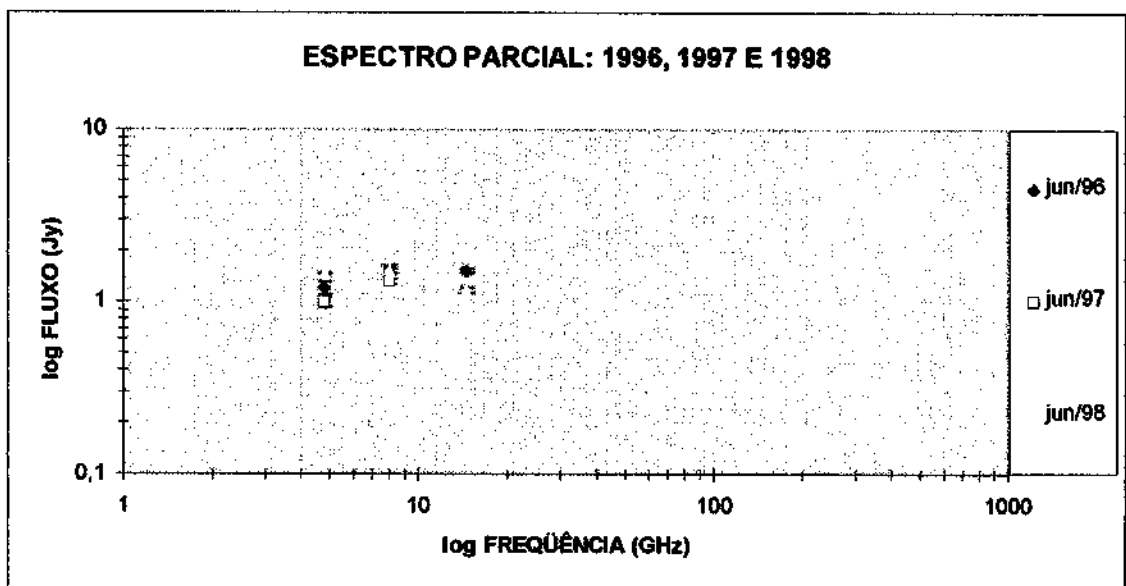


Figura 5.2.9: Continuação.

A figura 5.2.9 mostra o máximo de atividade. É interessante notar que a tendência ao ponto de máximo no espectro surge primeiro em uma dada frequência, e vai se estendendo às demais. Na figura 5.2.9 e, de forma geral, para essa radiofonte como um todo, o ponto de máximo no espectro aparece na frequência de 14,5 GHz em primeiro lugar, seguindo, então, para as frequências de 8,0 GHz e 4,8 GHz, nessa ordem(ver figuras anteriores).

0059+581

Esta fonte possui um número insuficiente de dados para uma análise mais rigorosa como no caso da fonte anterior. Limitaremos nossa análise à simples observação do gráfico de densidade de fluxo X tempo.

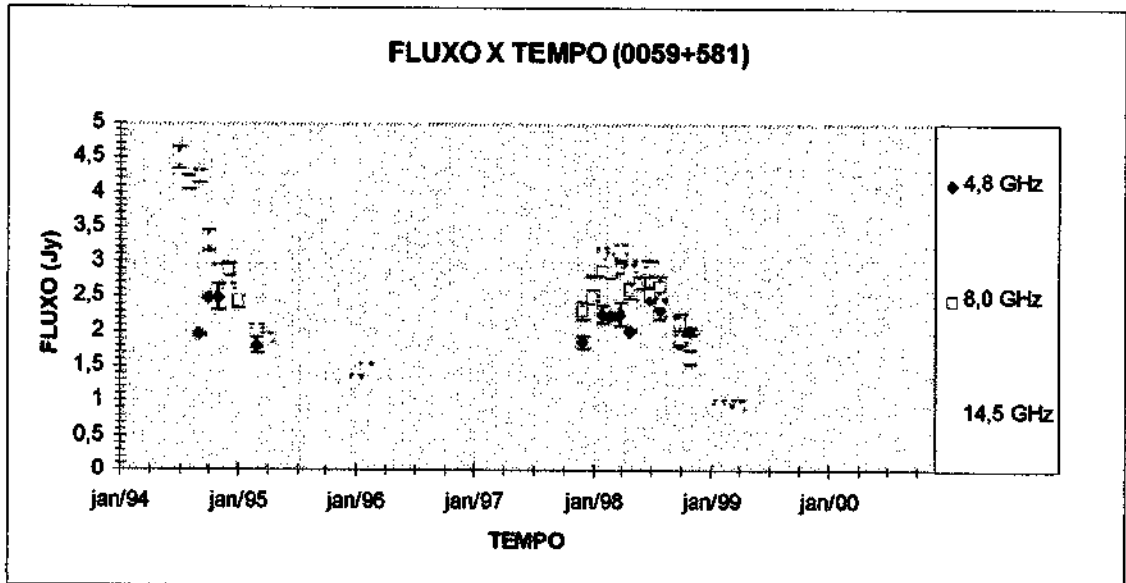


Figura 5.2.10: Densidade de Fluxo X Tempo 0059+581 (Michigan).

0106+013

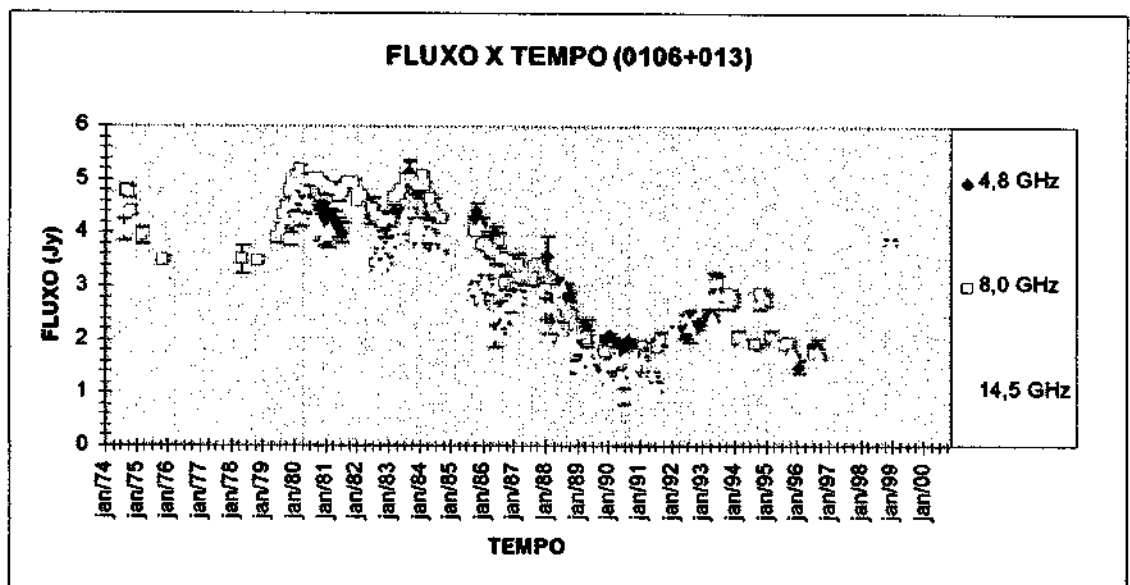


Figura 5.2.11: Densidade de Fluxo X Tempo 0109+013 (Michigan)

Neste caso, apresentaremos o espectro num único gráfico (figura 5.2.12). Segue, como temos feito, uma análise simples sobre a atividade dessa fonte.

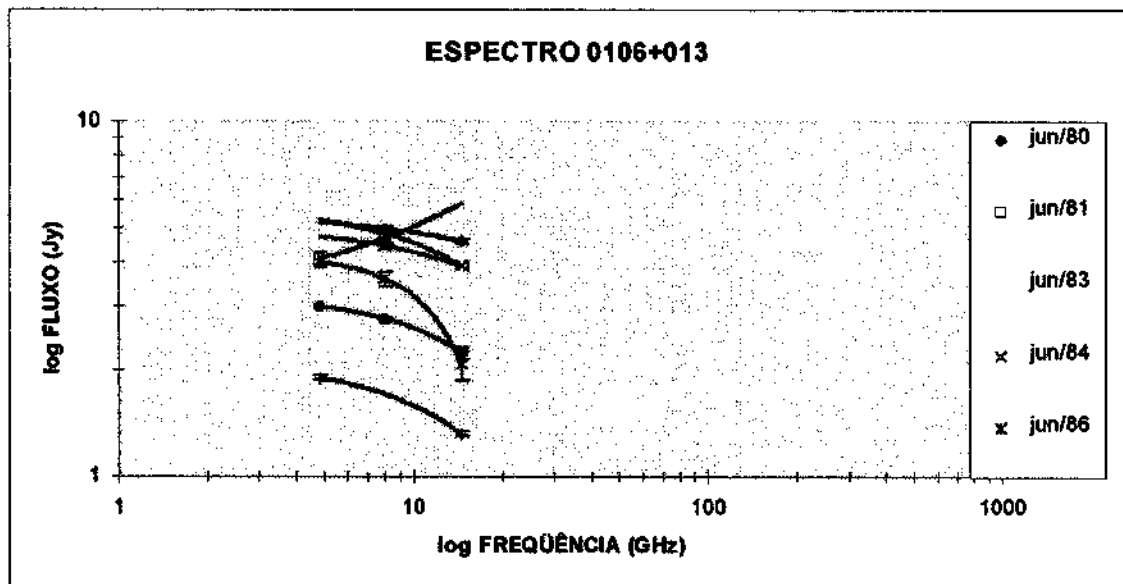


Figura 5.2.12: Espectro da fonte 0106+013 (Michigan)

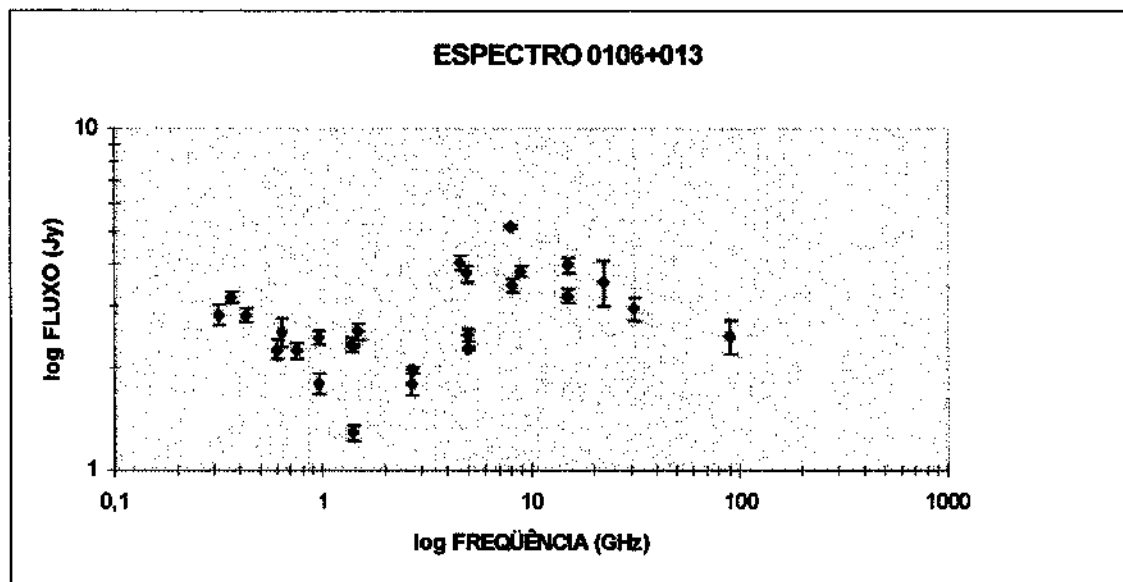


Figura 5.2.13: Espectro de Kühr et al.(1981) constituído por dados coletados de diferentes radio-observatórios e em épocas diferentes.

A figura 5.2.12 mostra que 0106+013 tem espectro bastante variável.

0103+333

O rádio-observatório de Michigan realiza observações diárias nas frequências de 4,8 GHz, 8,0 GHz e 14,5 GHz. Às vezes, no entanto, no banco de dados do Observatório de Michigan, não temos

informações disponíveis para todos os meses do ano em todas as frequências. Esta fonte é um caso em que usaremos como padrão, diferentemente de como temos feito normalmente utilizando o mês de junho, o mês de janeiro, visto que as informações que constam do mês de junho de cada ano são muito escassas.

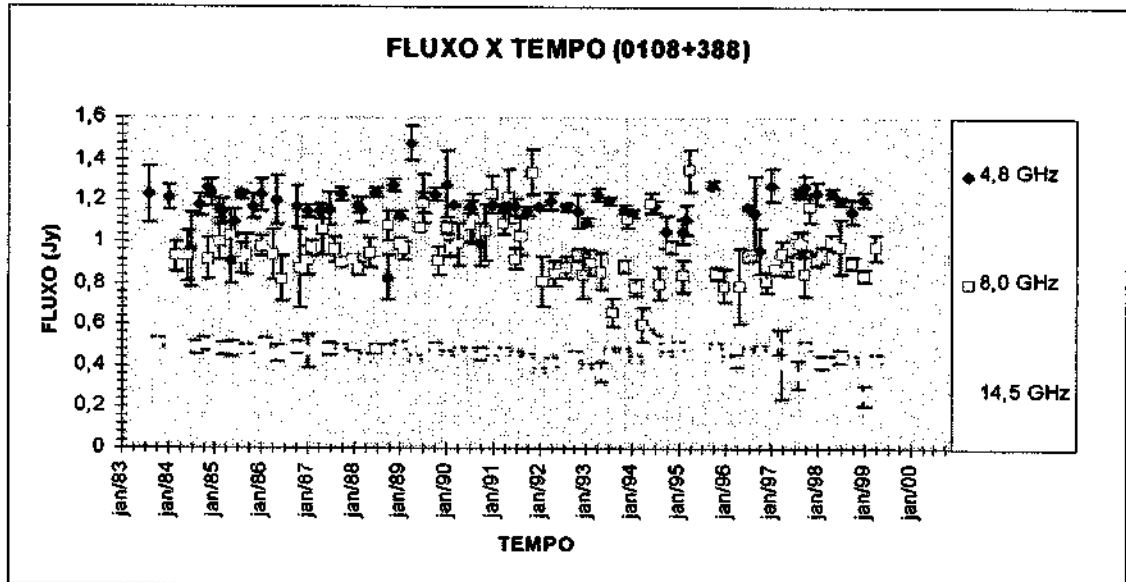


Figura 5.2.14: Densidade de Fluxo X Tempo 0108+388.

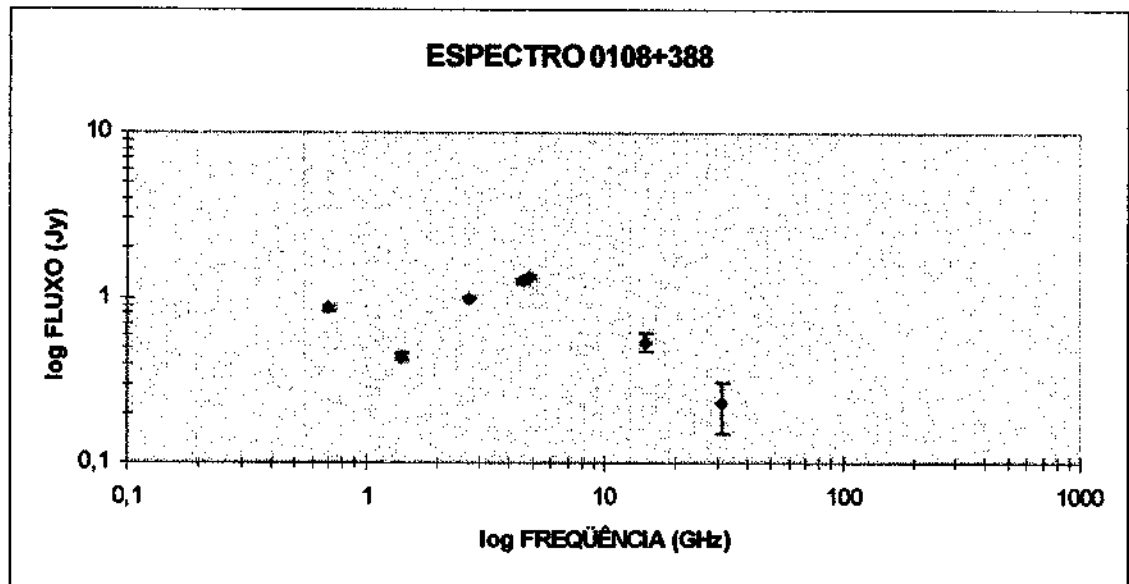


Figura 5.2.15: Espectro extraído de Kühr et al. (1981) mostrando o resultado de aproximadamente 20 anos de coleta de dados por diferentes rádio-telescópios.

A figura 5.2.15 mostra um gráfico elaborado tendo como base os dados extraídos do catálogo de Kühr et al. que nos dá uma um panorama geral de 20 anos de observações. Um gráfico análogo se encontra nesse mesmo artigo na seção que trata dos espectros das radiofontes estudadas.

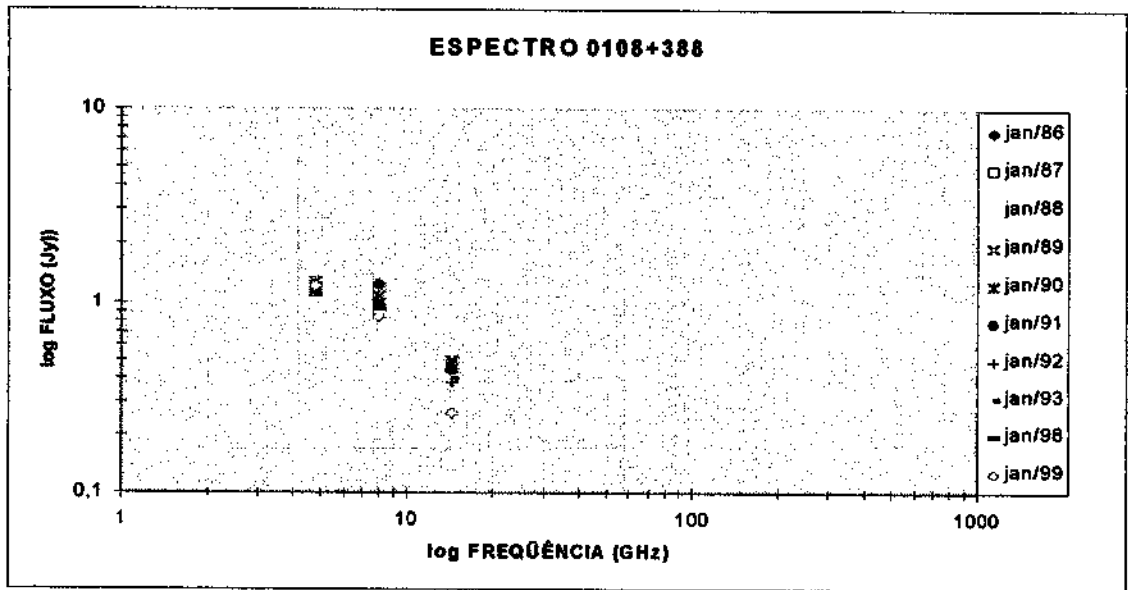


Figura 5.2.16: Espectro total da fonte 0108+388 (Michigan).

Observando a figura acima vemos que os períodos de crescimento e decréscimo na atividade desta fonte são de difícil distinção. Alguns valores parecem se sobrepor. Utilizaremos, então o mesmo método que utilizamos para a análise do espectro de uma fonte analisada anteriormente. Faremos a decomposição em intervalos de tempo menores, onde constam 3 ou 4 anos por vez e tendo, sempre, uma determinada curva referente a um ano em comum a dois gráficos subsequentes para comparação. Convém ressaltar que foram feitas aproximações para curvas polinomiais de grau 2.

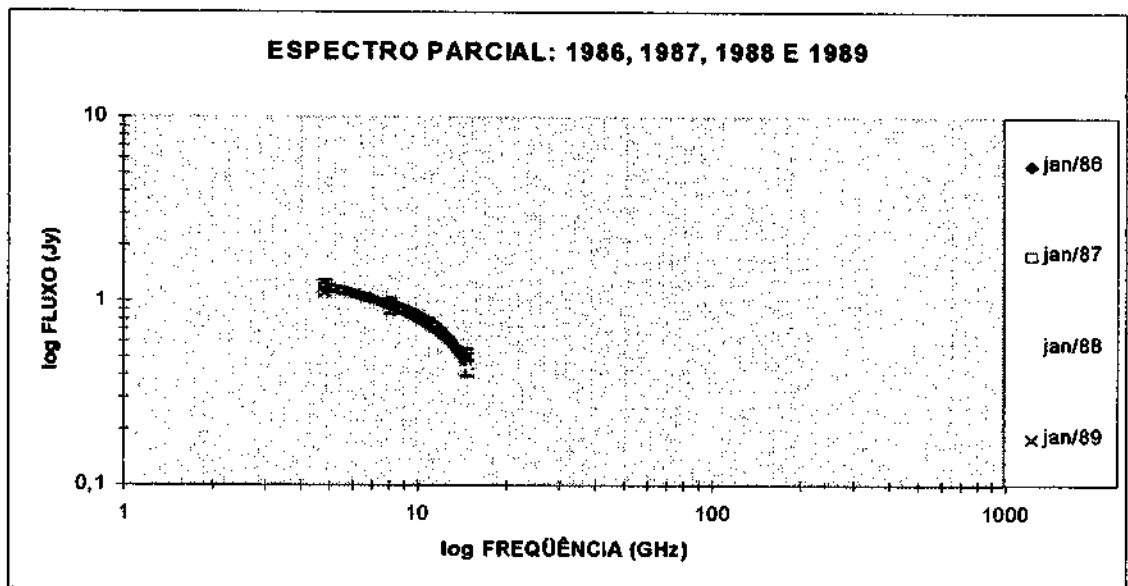


Figura 5.2.17: Gráfico parcial que mostra as curvas de espectro referentes aos anos de 1986, 1987, 1988 e 1989 (gráfico parcial).

De acordo com a figura 5.2.17, temos o período de máxima atividade no ano de 1986, com um decréscimo a partir daí.

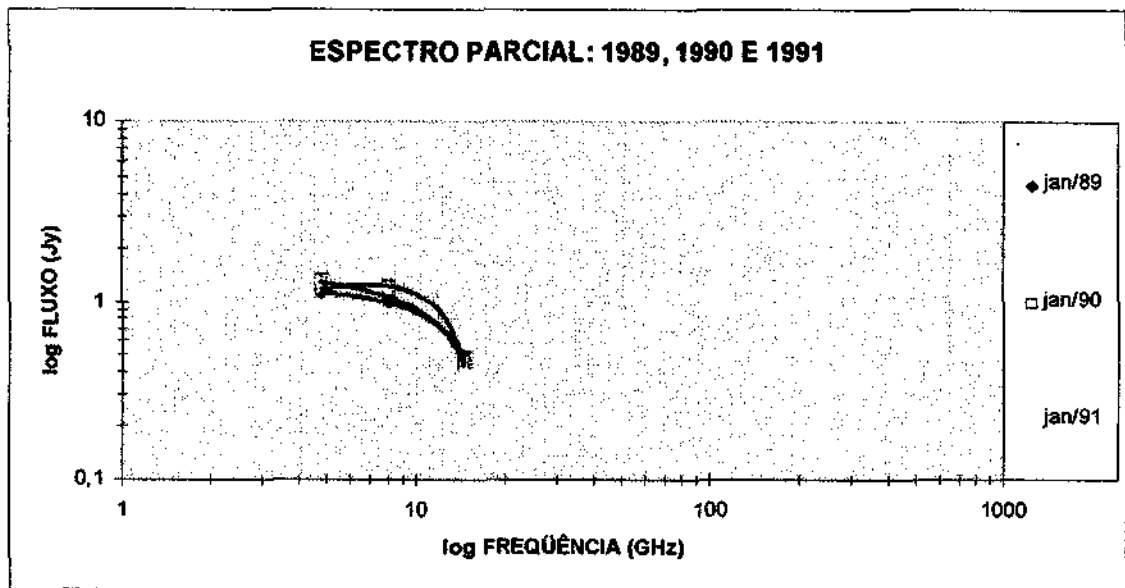


Figura 5.2.18: Continuação.

A figura 5.2.18 mostra que, após a queda na atividade apresentada na figura 5.2.17, há um novo crescimento. Este gráfico parcial tem como curva de mínima atividade a curva referente ao ano de 1989 e, como curva de máxima atividade, a curva de 1991.

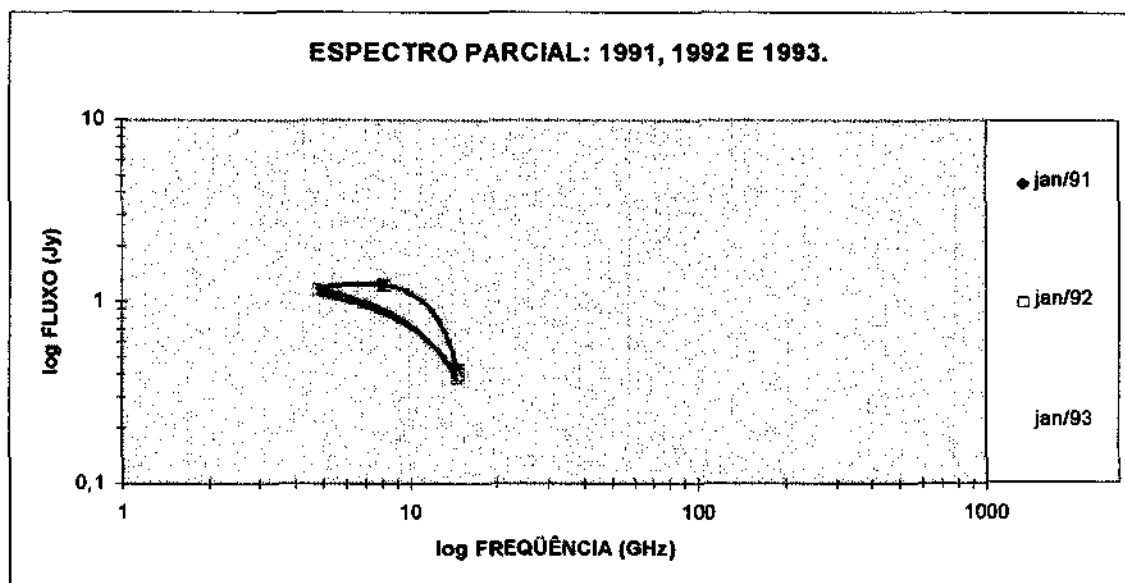


Figura 5.2.19: Continuação.

As curvas da figura 5.2.19 mostram um decréscimo na atividade a partir de 1991 (lembrar que 1991 era a curva de máxima atividade no gráfico parcial anterior, o da figura 5.2.18), atingindo a curva de 1993 que se apresenta como a curva de mínima atividade.

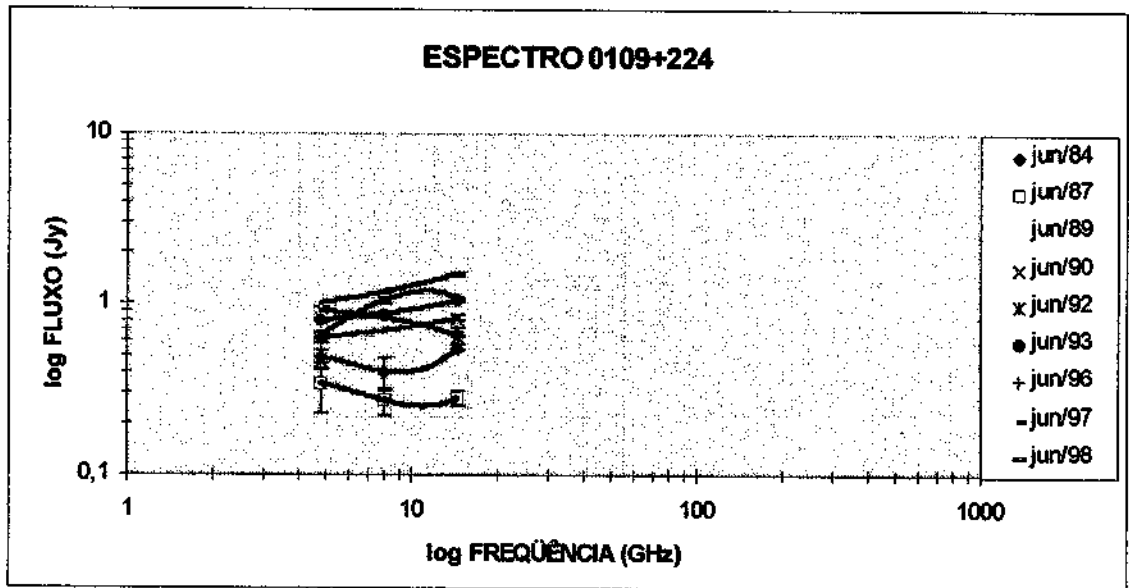


Figura 5.2.22: Espectro total 0109+224 (Michigan)

Como podemos ver logo acima, na figura 5.2.22 , a partir da curva característica do ano de 1984, registramos um decréscimo na atividade até o ano de 1987. A partir daí, há um crescimento na atividade até o ano de 1989, quando registramos um novo decréscimo que continua através do ano de 1990 e cessa, no nosso gráfico, no ano de 1992. A partir de então, há um novo crescimento no nível de atividade, atingindo o nível máximo do período estudado em 1998.

0153+744

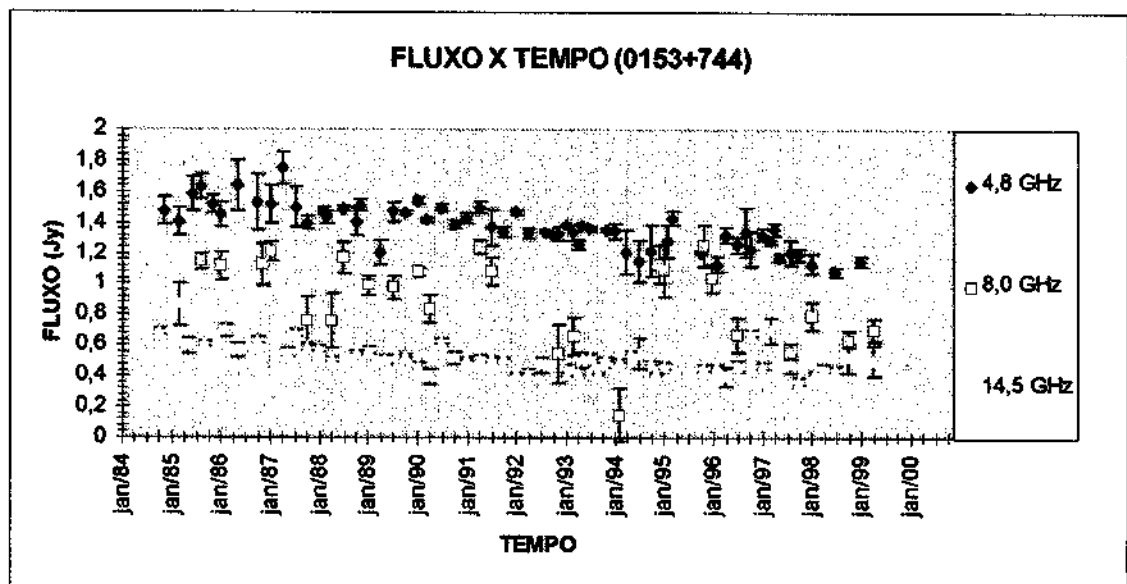


Figura 5.2.23: Densidade de Fluxo X Tempo para a fonte 0153+744 (Michigan).

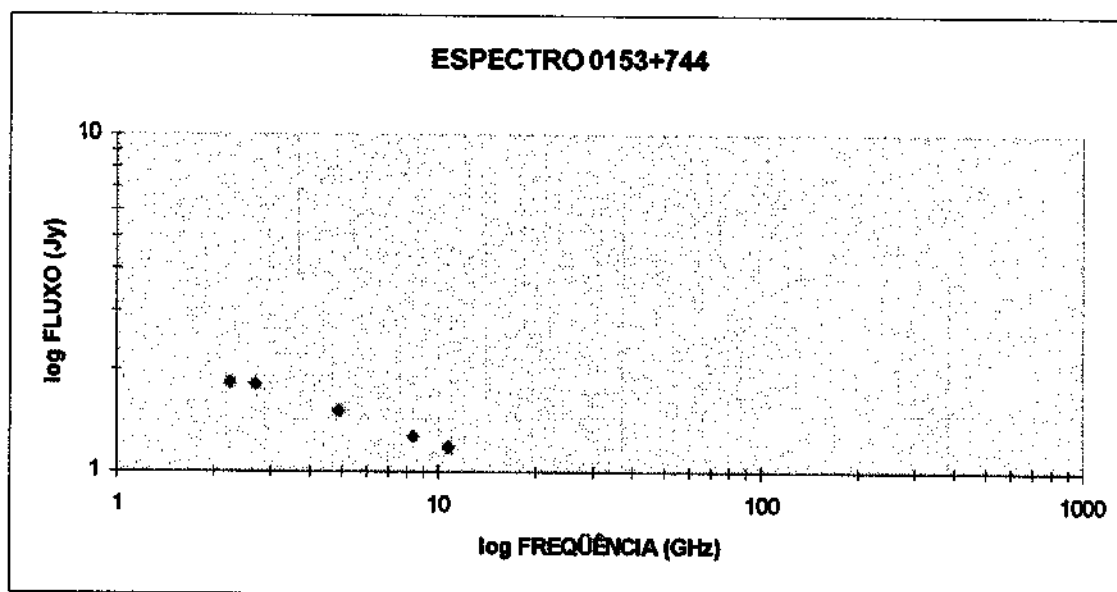


Figura 5.2.24: Espectro a partir do catálogo de Kühr et al. (1981) cujos dados se referem a um intervalo de tempo de 20 anos.

Novamente nos deparamos com o fato de os bancos de dados de Michigan não possuírem dados referentes ao mês de junho de cada ano. Usaremos, como outrora, o mês de janeiro.

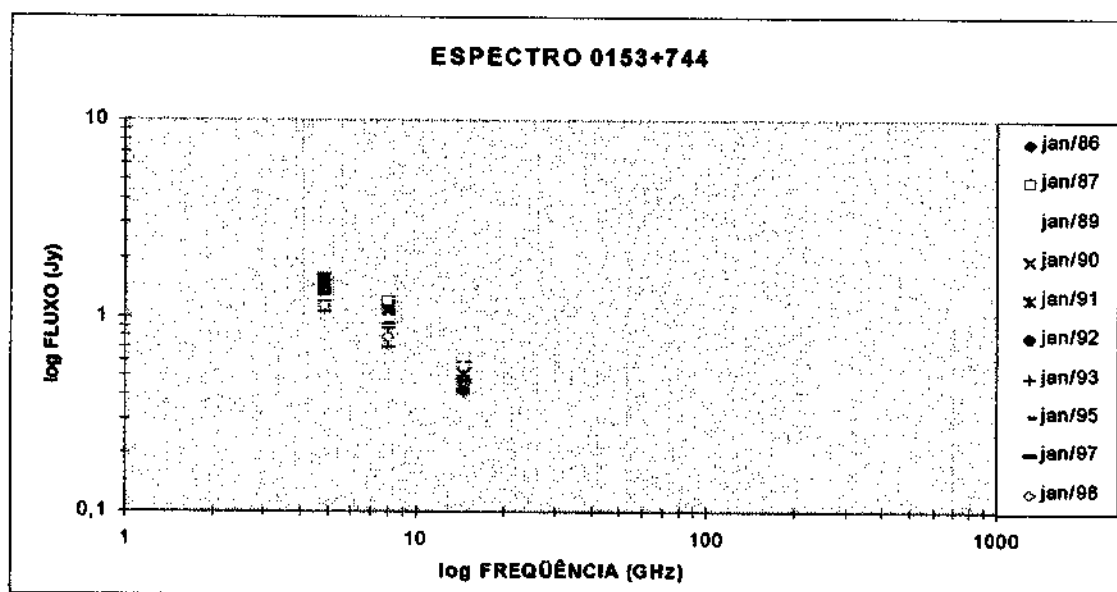


Figura 5.2.25: Espectro da fonte 0153+744 (Michigan).

O espectro mostra a curva de 1986, a partir da qual se evidencia um crescimento no nível de atividade precisamente até o ano de 1987, quando a atividade começa a decrescer. As curvas que se seguem exibem a mesma tendência. A curva de mínima atividade está relacionada ao ano de 1998, último ano de observações disponíveis para a composição deste espectro.

0127+233 (3C 43)

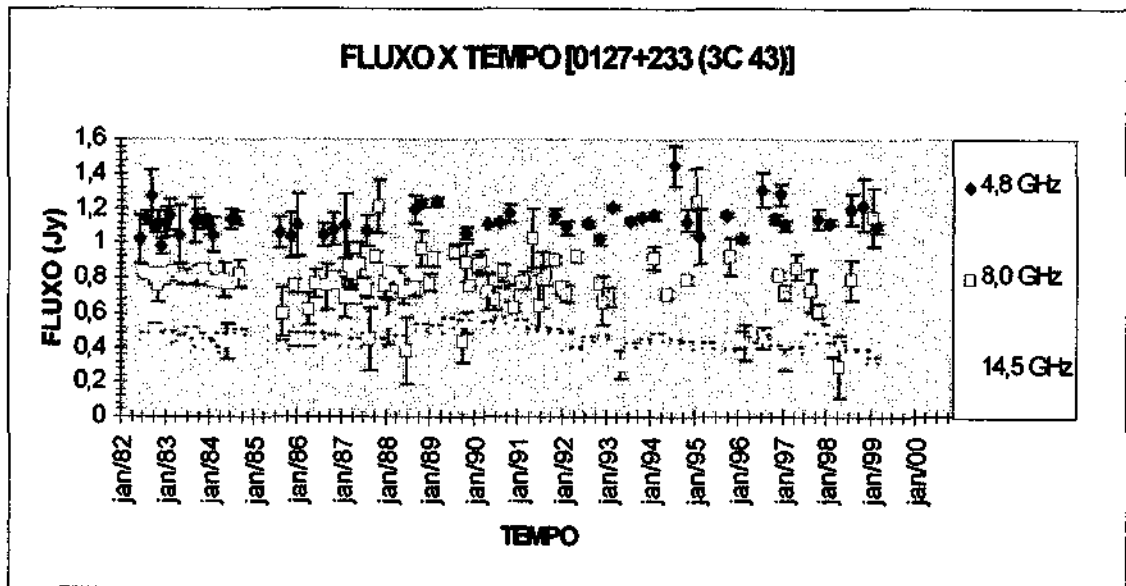


Figura 5.2.26: Densidade de Fluxo X Tempo 0127+233 (3C 43). Michigan.

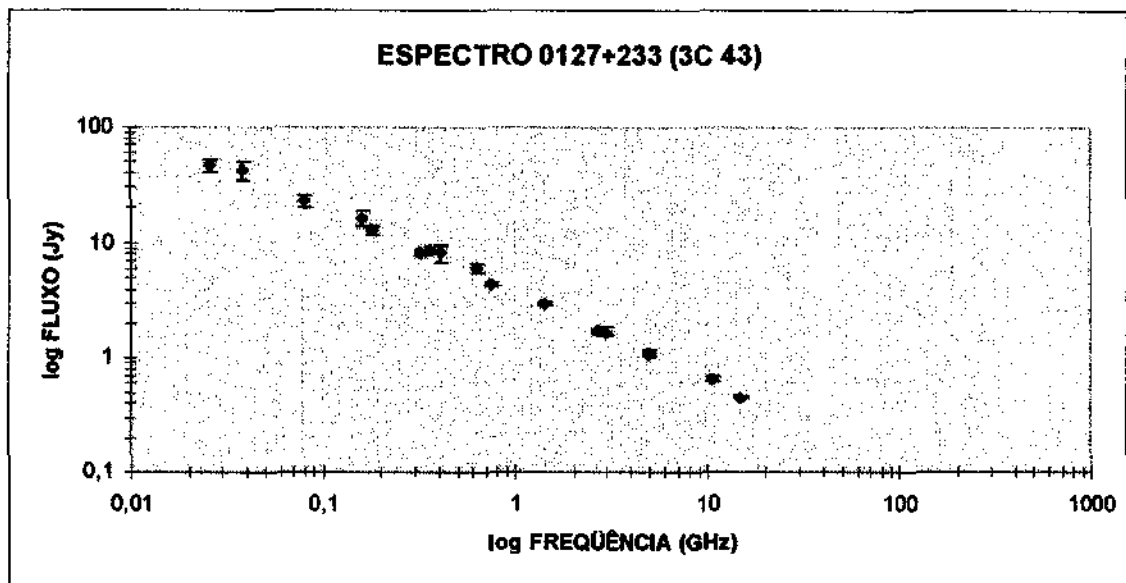


Figura 5.2.27: Espectro feito a partir do catálogo de Kühr et al. (1981) num intervalo de tempo entre 1965 e 1980.

Novamente, por escassez de dados, tomaremos como base um outro mês diferente de junho. Agosto, neste caso, se mostrou um mês com uma quantidade razoável de dados.

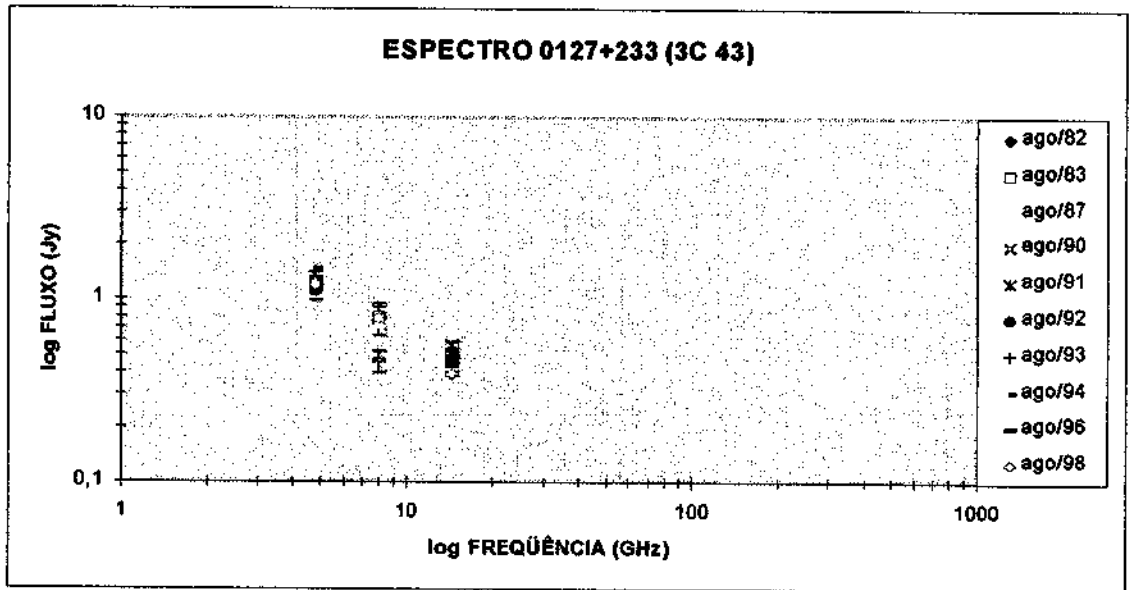


Figura 5.2.28: Espectro 0127+233 (3C 43). Michigan.

Este é um caso que se caracteriza pelo decréscimo do nível de atividade a partir do ano de 1982, seguindo essa tendência até o ano de 1998.

0133+476

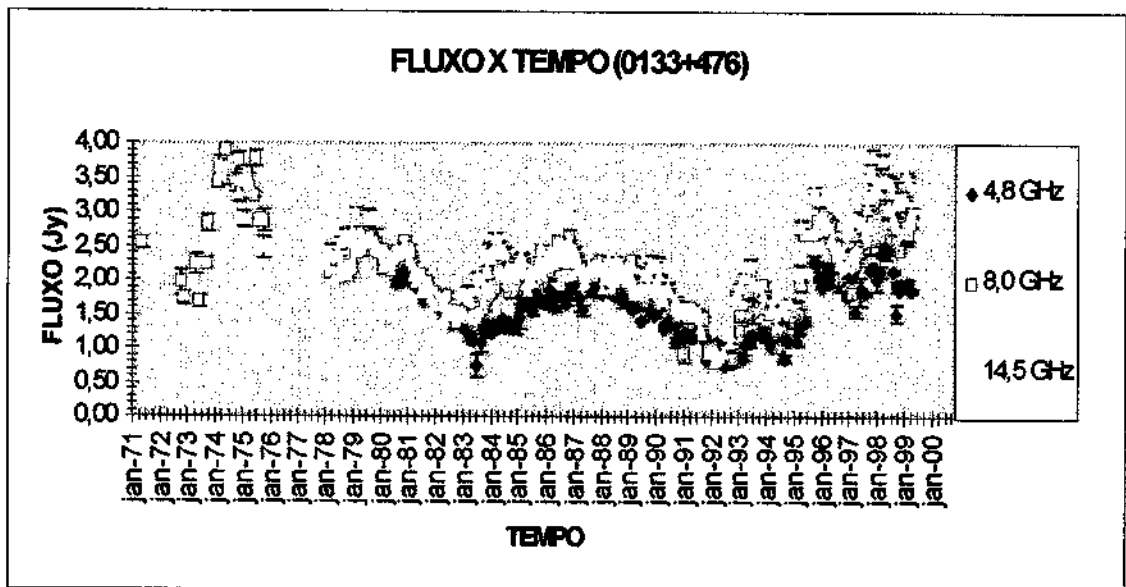


Figura 5.2.29: Densidade de Fluxo X Tempo 0133+476 (Michigan).

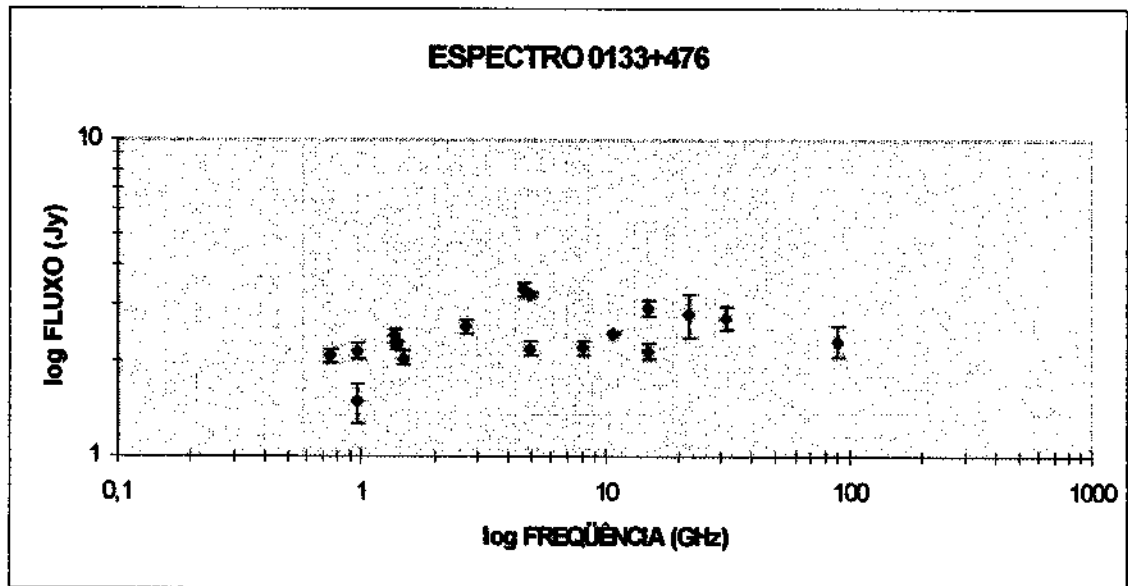


Figura 5.2.30: Espectro de Kühr et al. (1981). Dados referentes ao período que vai de 1965 a 1980.

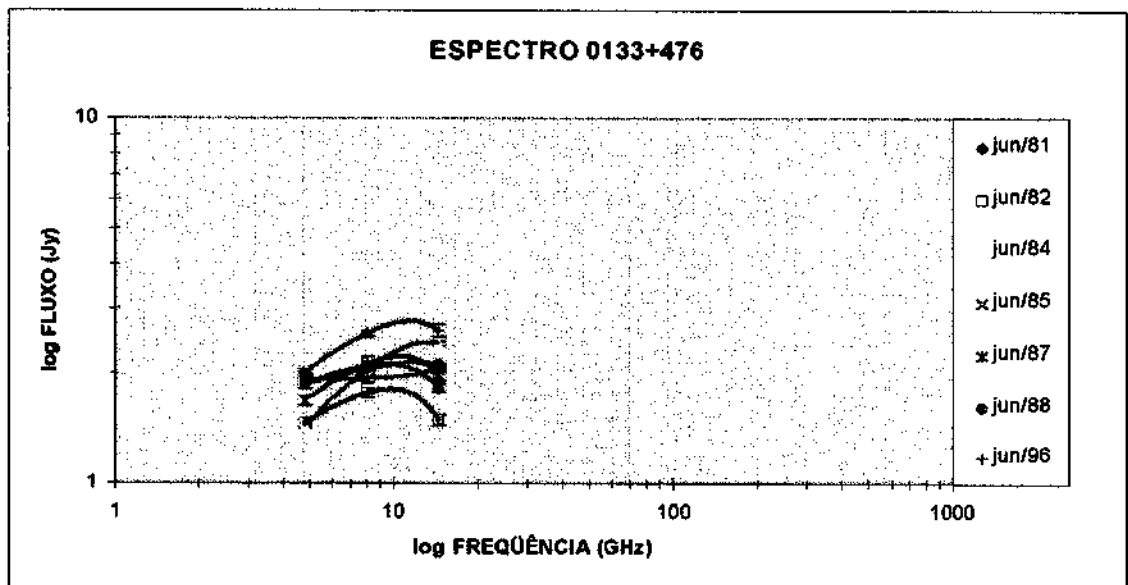


Figura 5.2.31: Espectro da fonte 0133+476 (Michigan).

As curvas de aproximação no gráfico acima são polinômios de grau 2.

Como podemos ver, o gráfico da figura 5.2.31 mostra o histórico da atividade da fonte 0133+476 em 1981. A próxima curva se refere ao ano de 1982, que se apresenta como uma diminuição da atividade da radiofonte. A partir daí, temos um novo crescimento, o que é mostrado na curva do ano de 1984. De 1982 a 1984, como vemos, houve um crescimento no nível de atividade. De 1985 a 1988 verificamos um novo período de decréscimo, desta vez não tão acentuado quanto o primeiro, o qual dará lugar a uma nova elevação da atividade da radiofonte.

0134+375 (3C 48)

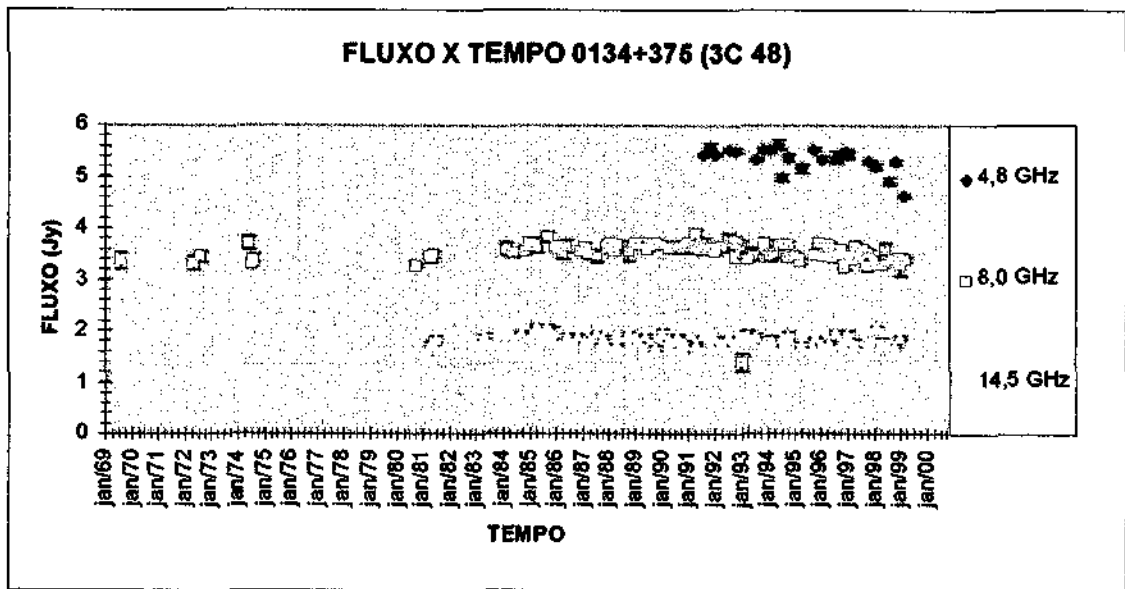


Figura 5.2.32: Densidade de Fluxo X Tempo 0134+375 (3C 48). Michigan.

A análise de atividade tem o mês de agosto como referência.

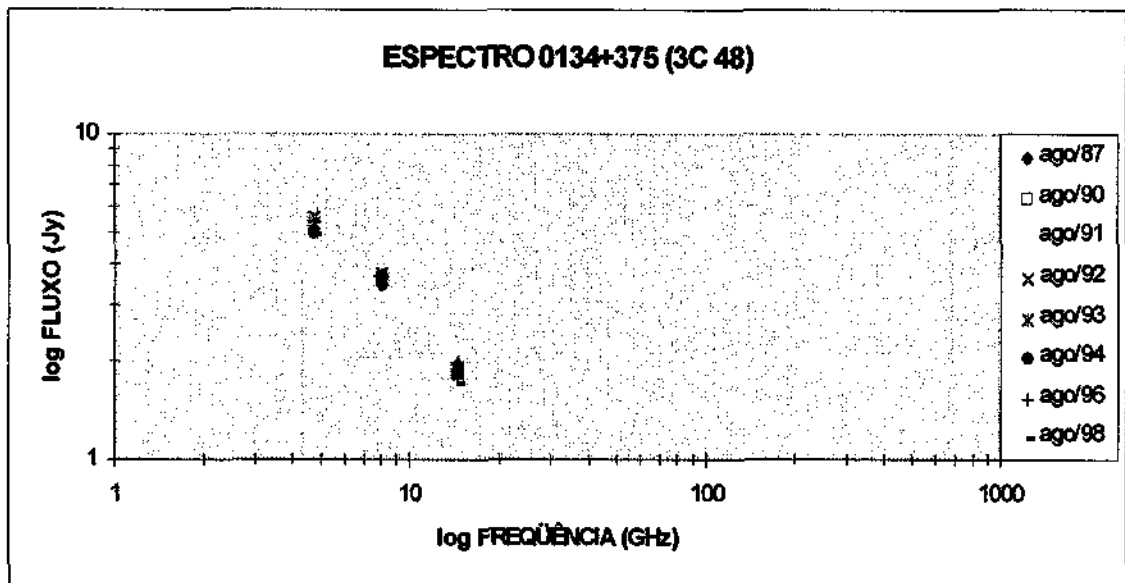


Figura 5.2.33: Espectro 3C 48 (Michigan).

Mais um caso onde os pontos parecem se sobrepor. Usemos, então, o método já utilizado anteriormente: Decomposição em espectros parciais.

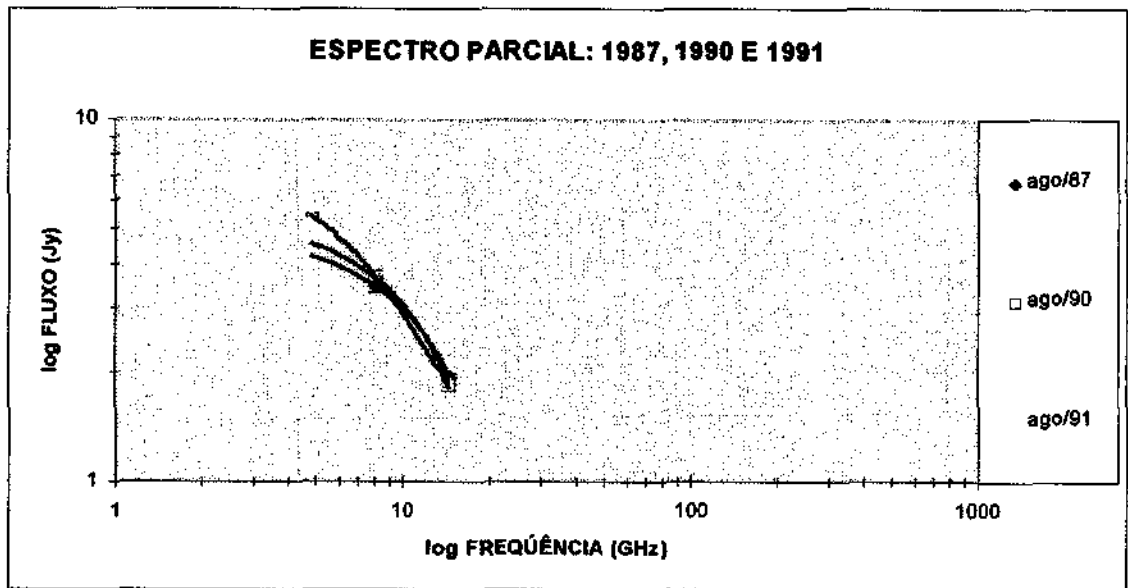


Figura 5.2.34: Espectro parcial correspondente aos anos de 1987, 1990 e 1991. Michigan.

Aqui, começando pelo ano de 1987 temos um pequeno crescimento até 1990 e um pequeno decréscimo em 1991. Fizemos uma aproximação para um polinômio de grau 2.

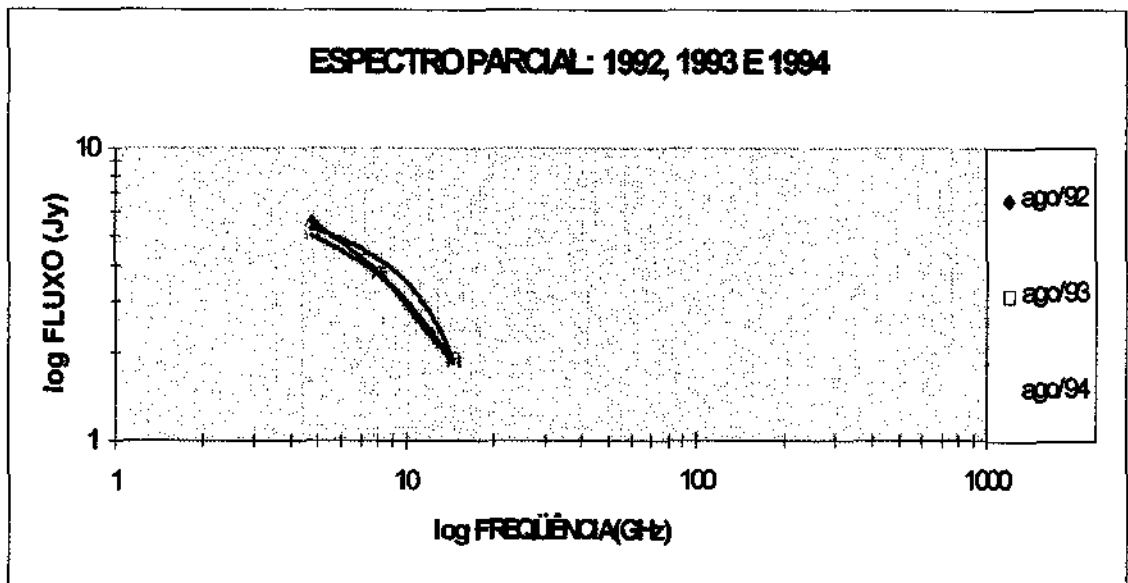


Figura 5.2.35: Continuação.

As curvas são aproximadas para polinomiais de grau 2, novamente. A tendência de decréscimo no nível de atividade continua.

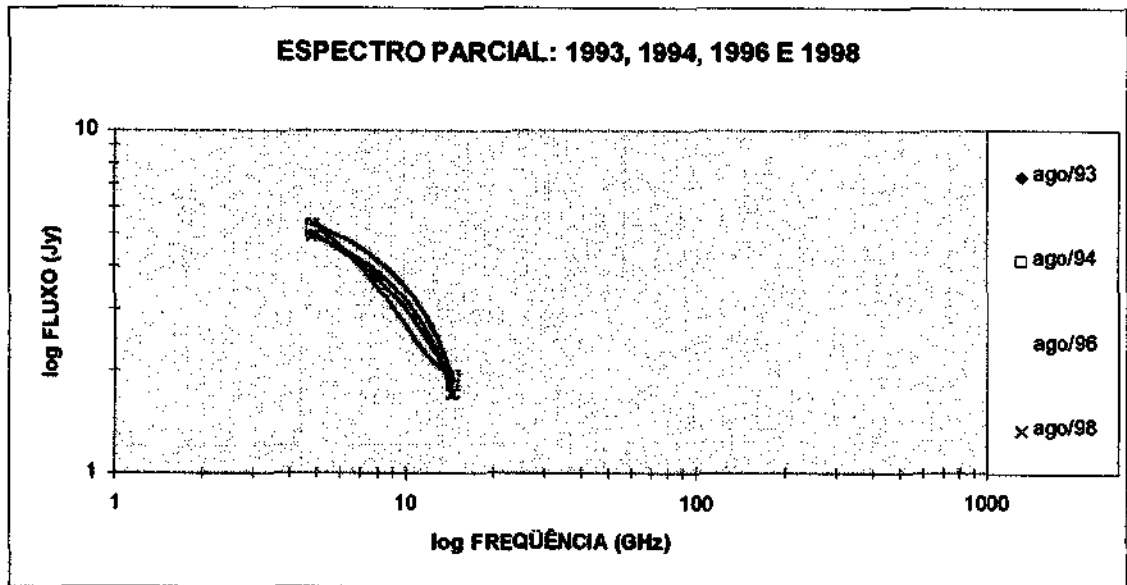
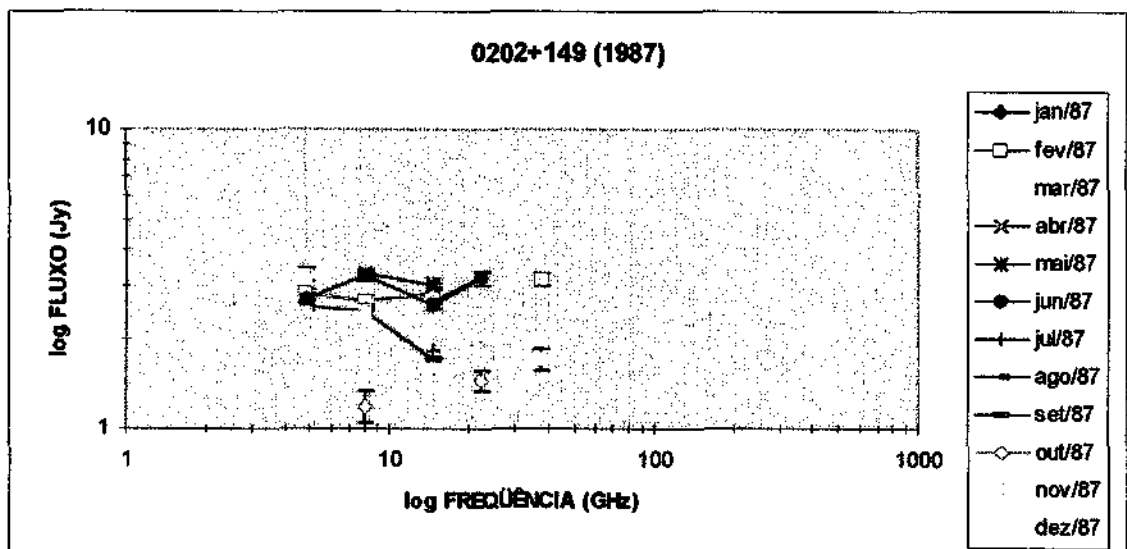
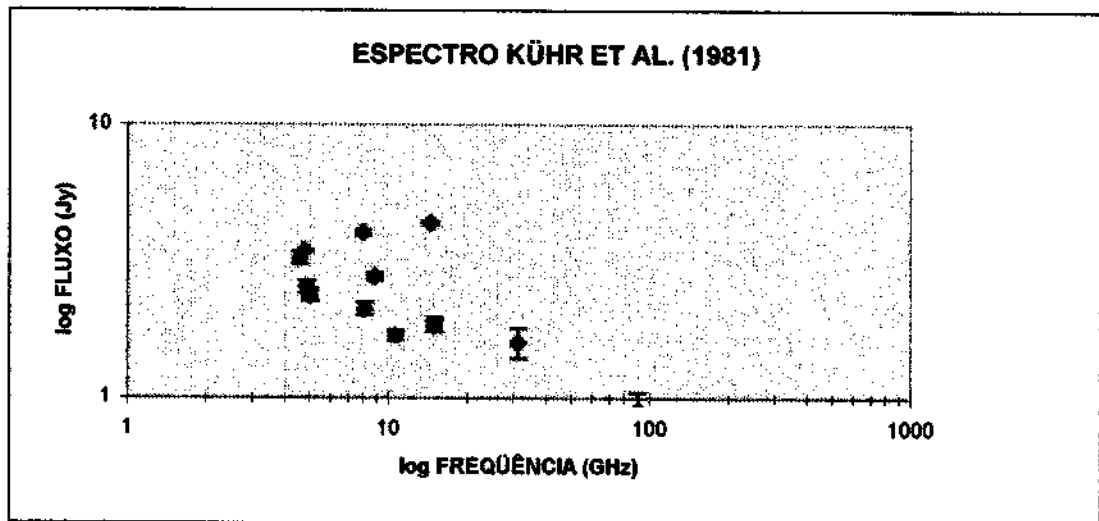


Figura 5.2.36: Continuação.

Podemos ver mais claramente que o ano de 1993 para os dados plotados funciona como ponto de mínimo para o nível de atividade da radiofonte. A partir de 1993, portanto, registramos crescimento no nível de atividade da radiofonte. Para seguir um padrão, todas as curvas foram aproximadas para polinômios de grau 2.

Apresentamos a seguir o método utilizado na segunda etapa deste trabalho no processamento dos dados e a forma e significado dos parâmetros calculados para as 25 radiofontes mostrando os resultados obtidos para a radiofonte 0202+149 no ano de 1987. Foram obtidos valores referentes à densidade de fluxo em 4,8; 8,0; 14,5; 22; 37; 87; 100 e 230 GHz e, quando disponíveis, dados adicionais como redshift, sub-classe e nomenclatura segundo diferentes catálogos de cada radiofonte. A partir desses dados foi obtida mensalmente a variação do índice espectral relativo a cada intervalo de frequências estudado.





Mostramos a seguir a tabela que relaciona a variação do índice espectral ao longo do ano de 1987 para a radiofonte 0202+149:

TEMPO	α 4,8-8,0	α 8,0-14,5	α 14,5-22
jan/87	-	-	-0,44
fev/87	0,09	-0,10	-
mar/87	-	-	-
abr/87	-	0,17	-
mai/87	-	-	-
jun/87	-	0,39	-0,52
jul/87	-	-	-
ago/87	-	-	-
set/87	0,09	0,60	-
out/87	-	-	-
nov/87	-0,03	-	-
dez/87	-	-	-

Na tabela, os espaços preenchidos com o sinal (-) devem-se à intermitência de dados disponíveis na literatura ou internet nas frequências sucessivas para uma mesma época.

- **índice espectral (α):** O índice espectral pode ser calculado através da seguinte relação :

$$F \propto \nu^{-\alpha} \quad (*)$$

o que resulta em

$$\alpha = - \frac{\ln \frac{F_1}{F_2}}{\ln \frac{\nu_1}{\nu_2}}$$

onde α é o índice espectral

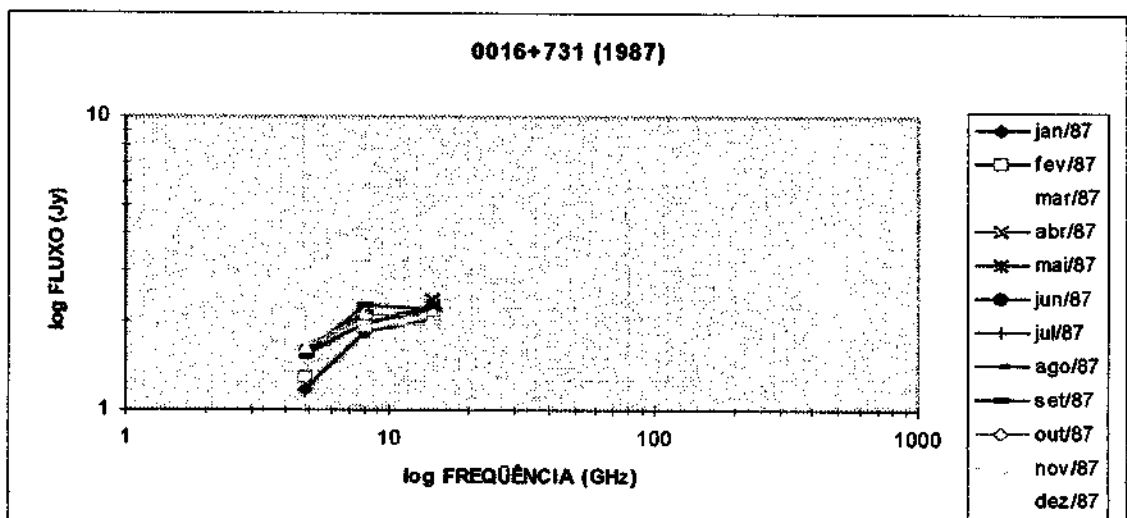
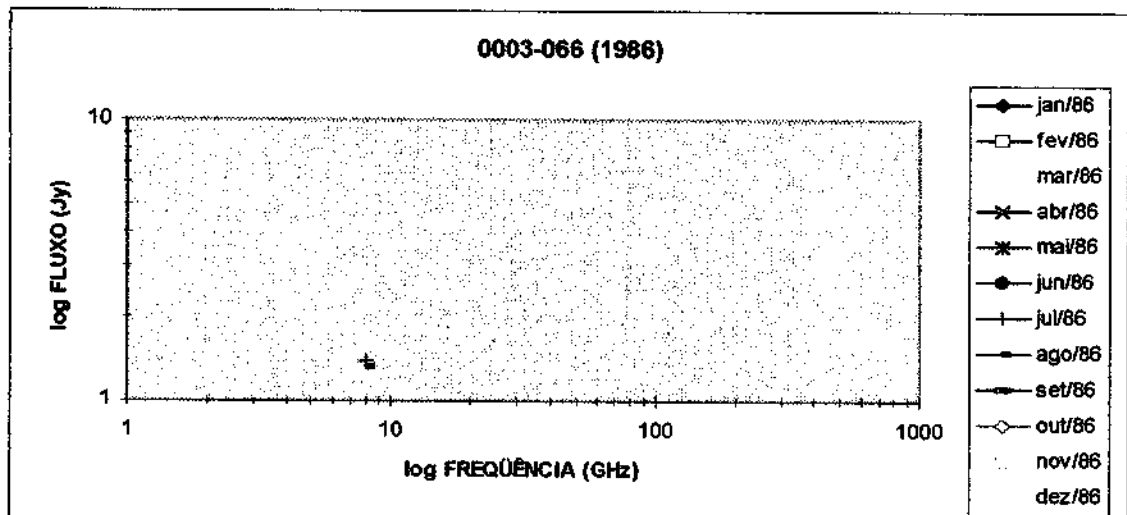
F_1 e F_2 representam densidades de fluxo

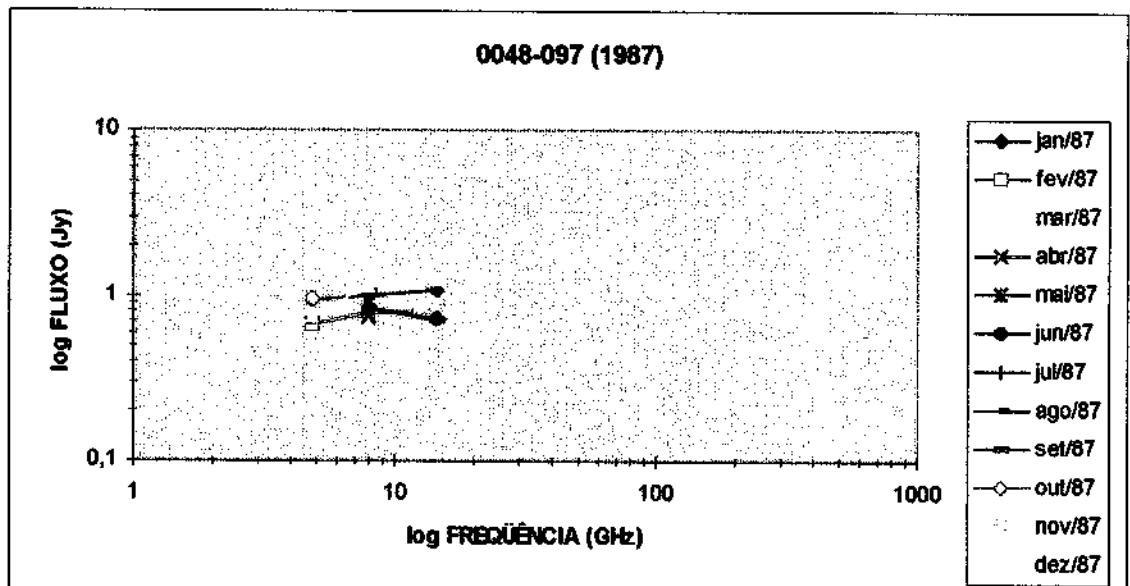
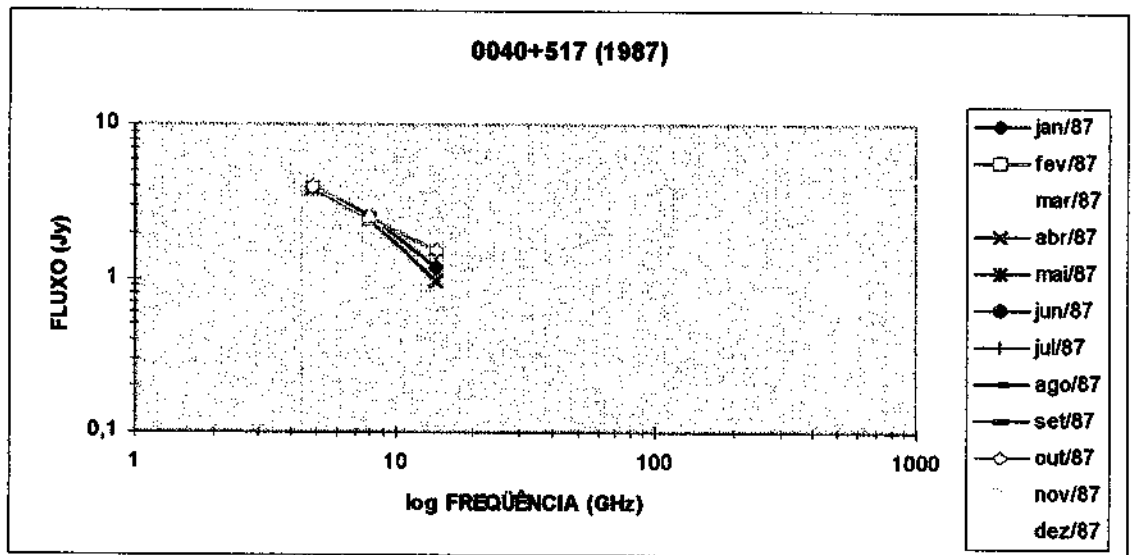
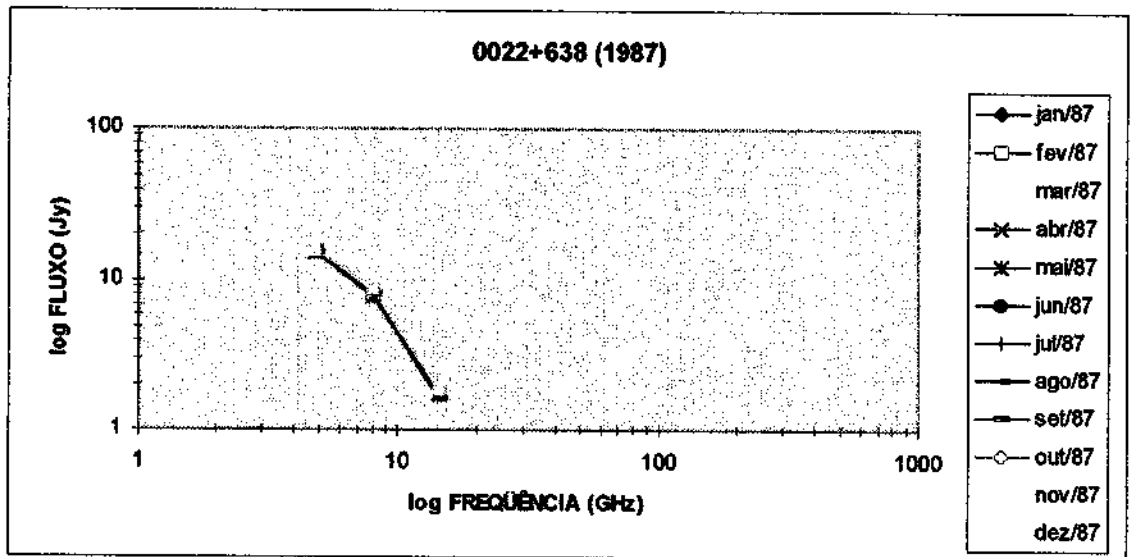
ν_1 e ν_2 são as frequências correspondentes

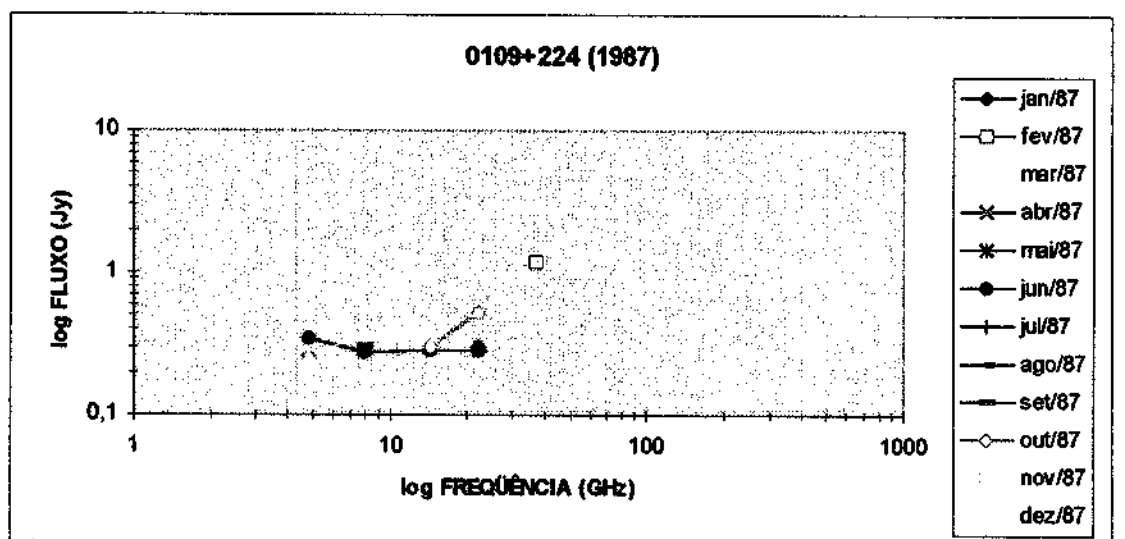
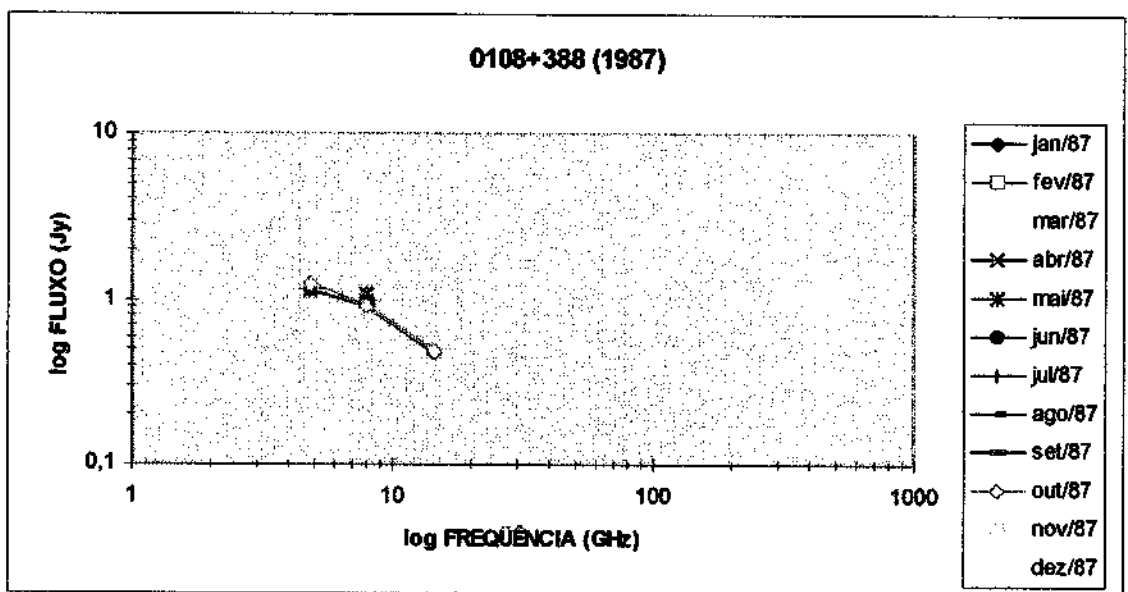
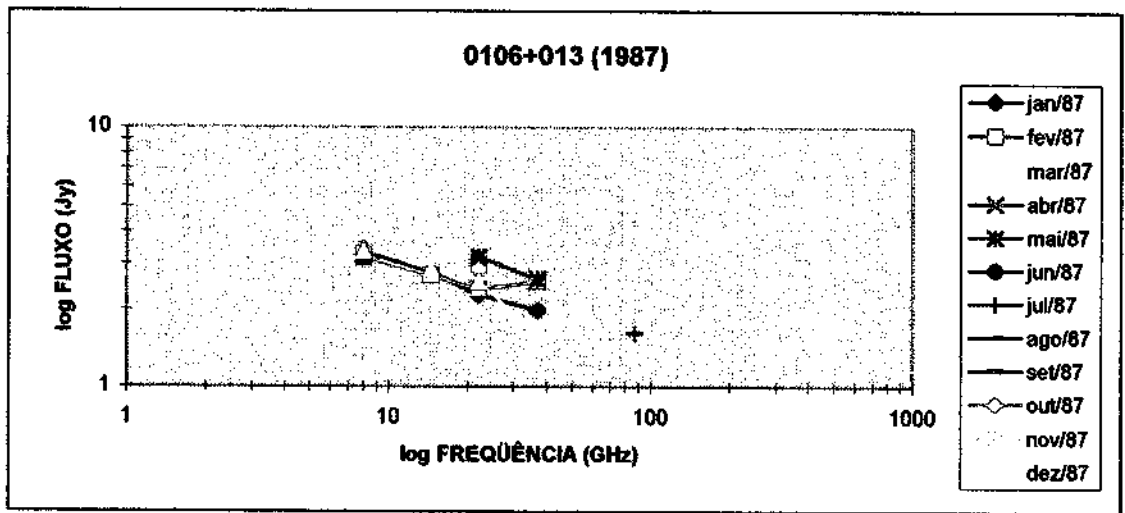
de (*) vemos que, para valores de α negativos, temos um crescimento na densidade de fluxo no intervalo de frequências crescente considerado e vice-versa.

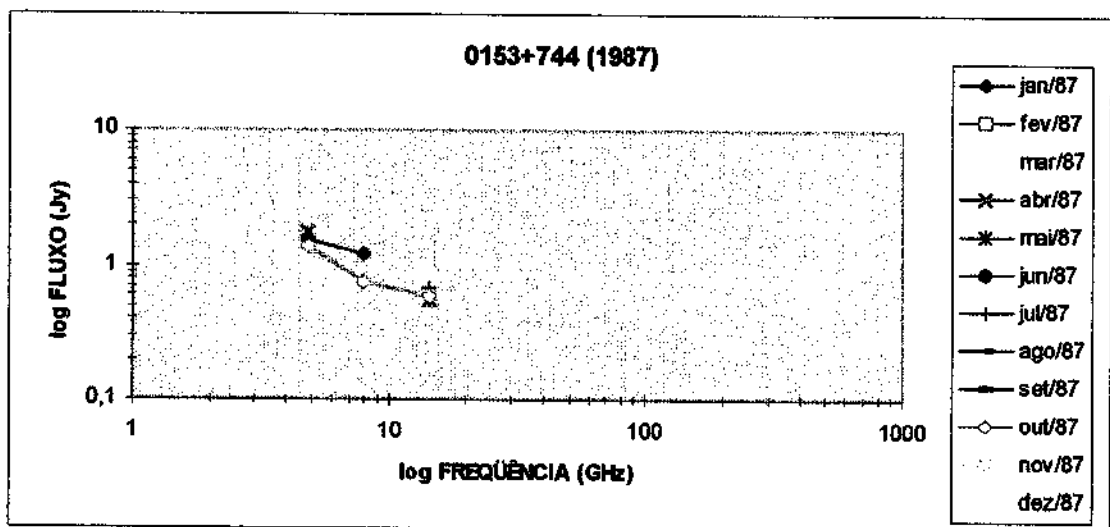
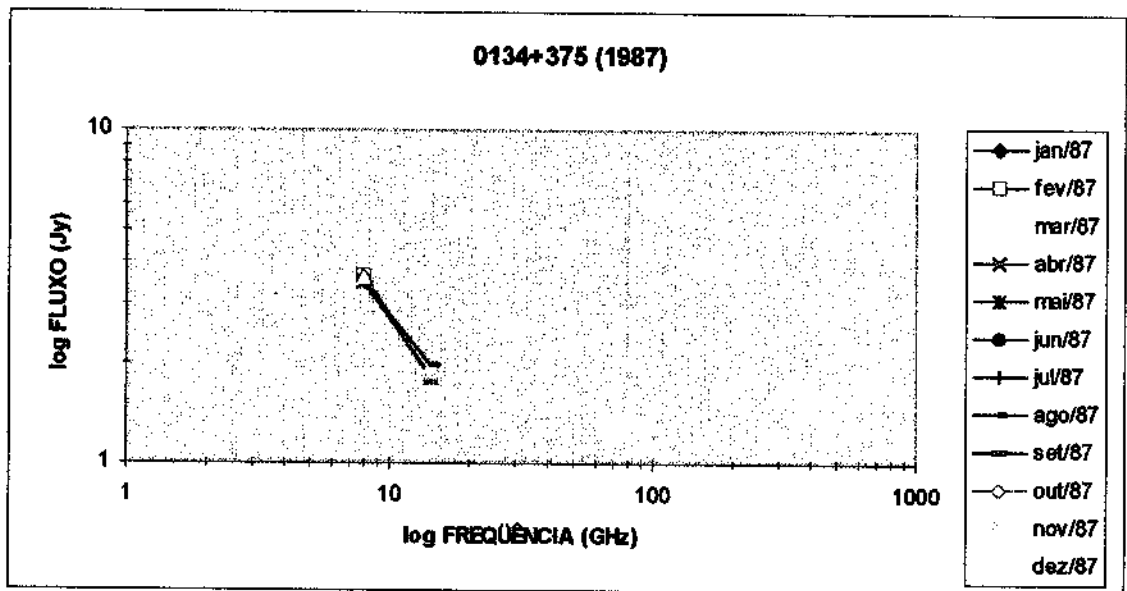
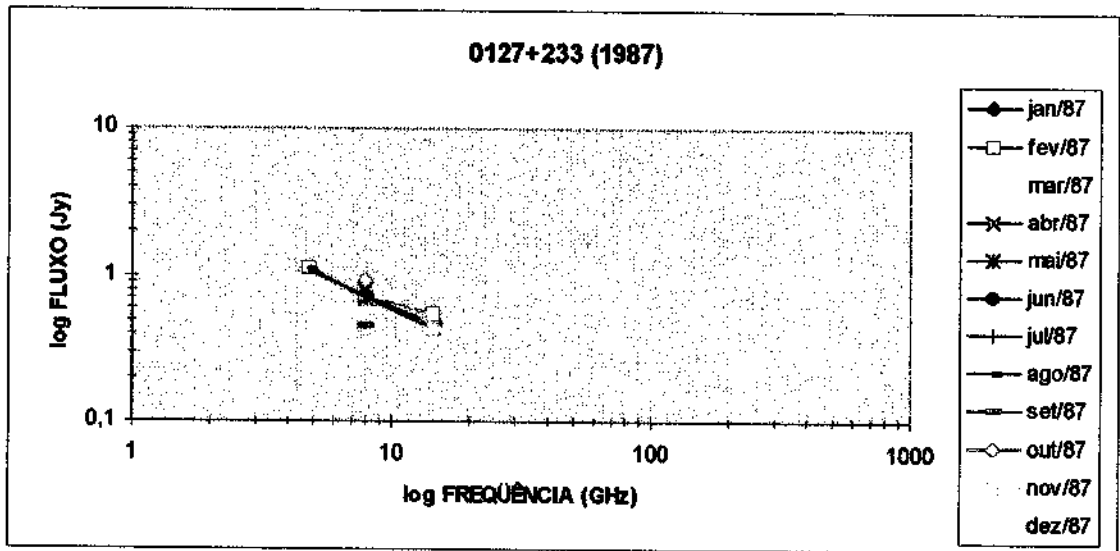
O espectro de Kühr et al. (1981) foi estruturado a partir de dados dispersos ao longo de 20 anos. O trabalho aqui realizado é baseado na periodicidade mensal dos dados obtidos, daí uma importante distinção entre os dois métodos. É interessante comparar os espectros obtidos nas duas abordagens. Os gráficos acima exibem um mesmo comportamento até a frequência de 37 GHz, que é o limite superior no intervalo de frequências estudado para esta radiofonte no presente trabalho, se considerarmos a abordagem utilizada em Kühr et al.(1981).

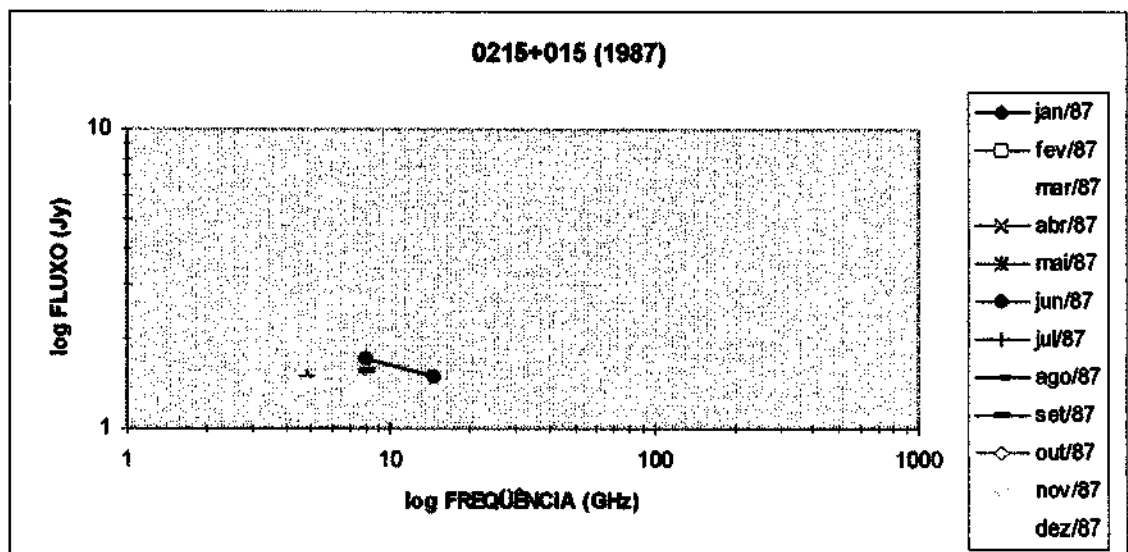
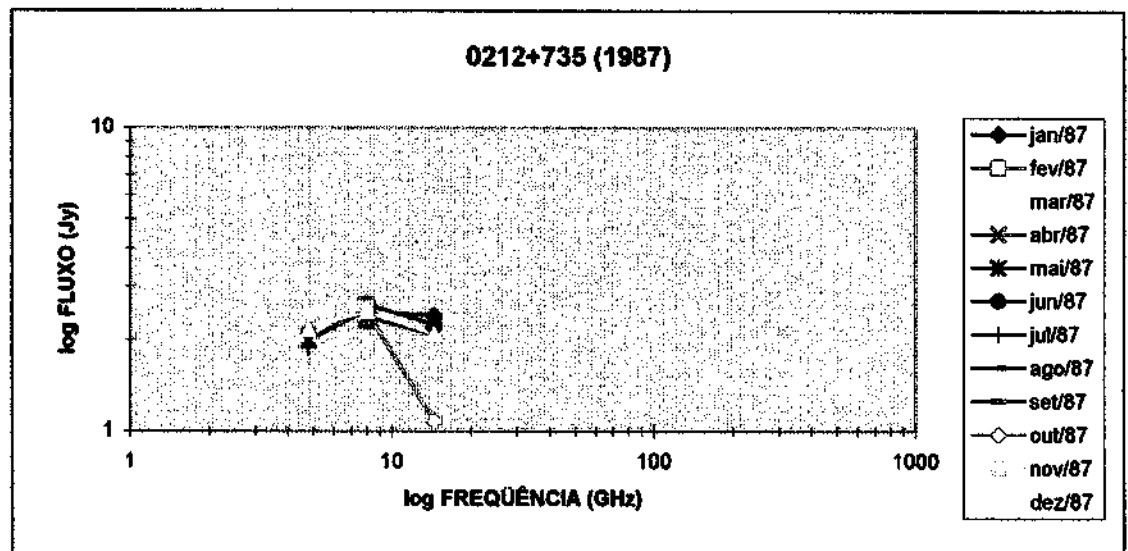
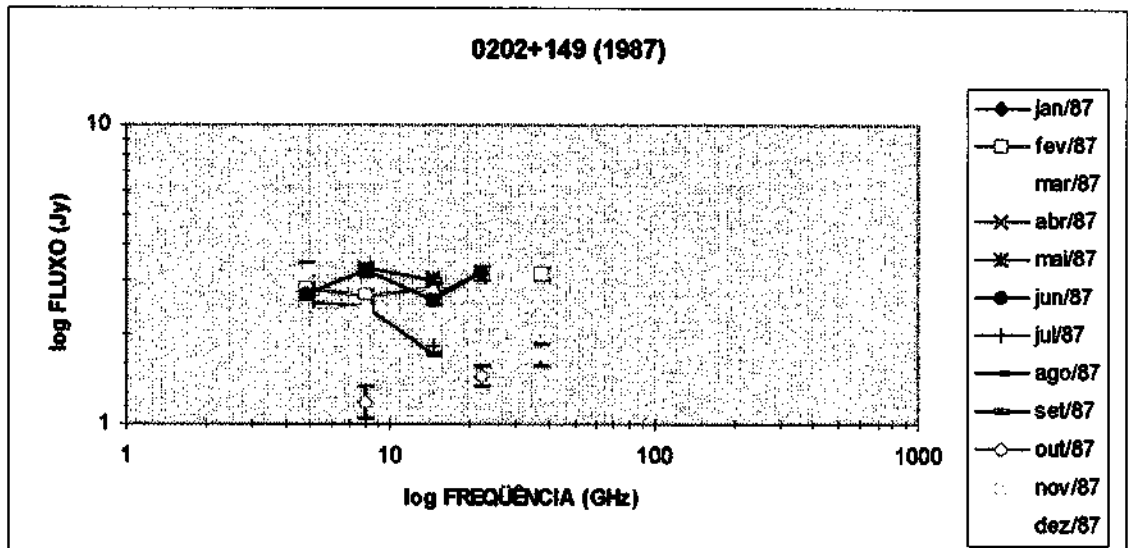
Como uma forma de comparação e, na impossibilidade de exibição dos, aproximadamente, 625 gráficos obtidos com suas respectivas tabelas, mostramos a seguir o espectro obtido para o ano de 1987 para as 25 radiofontes estudadas:

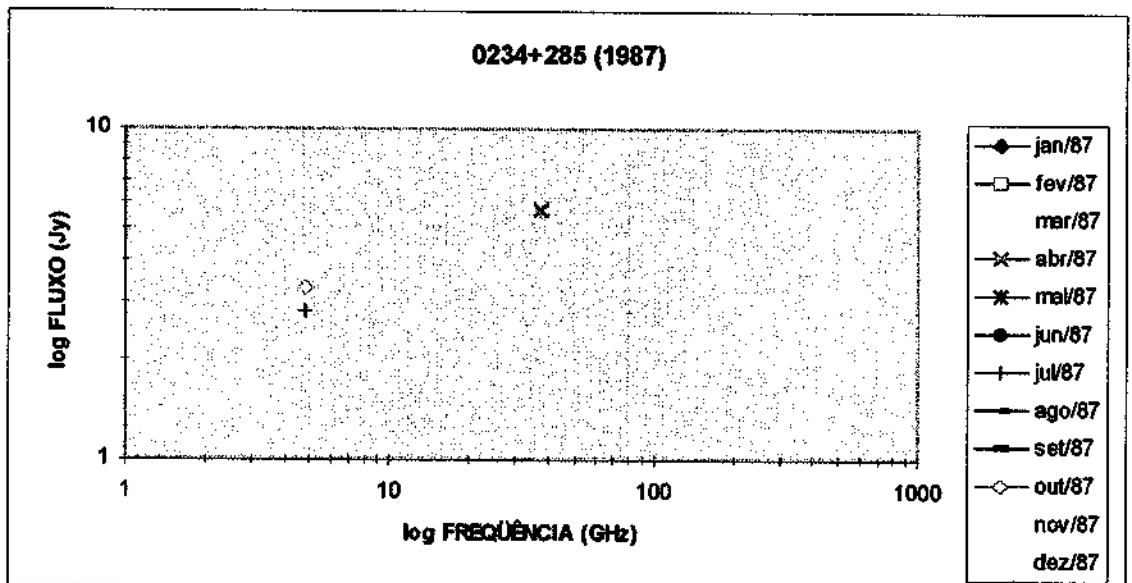
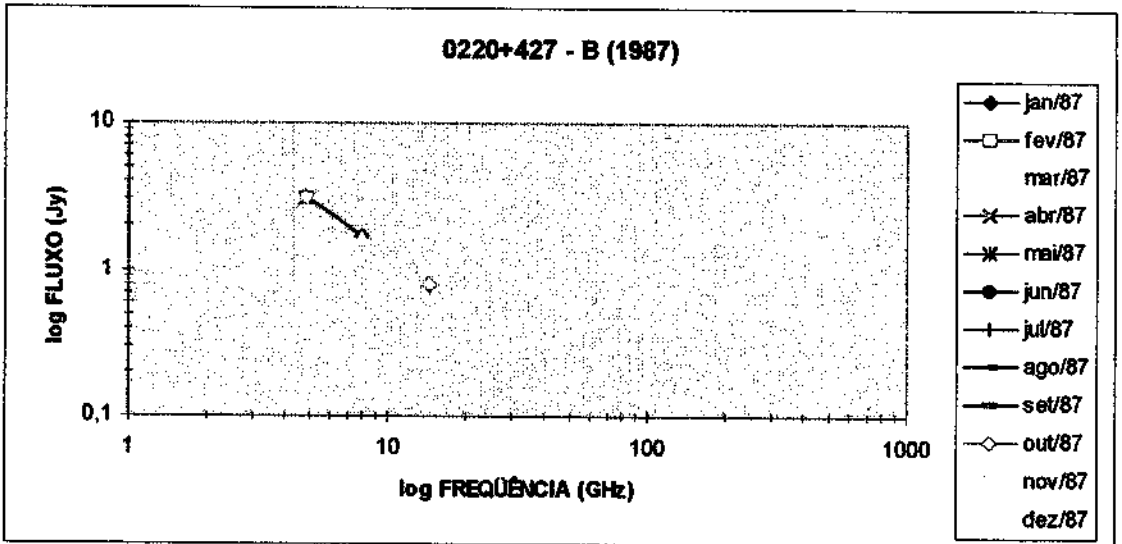
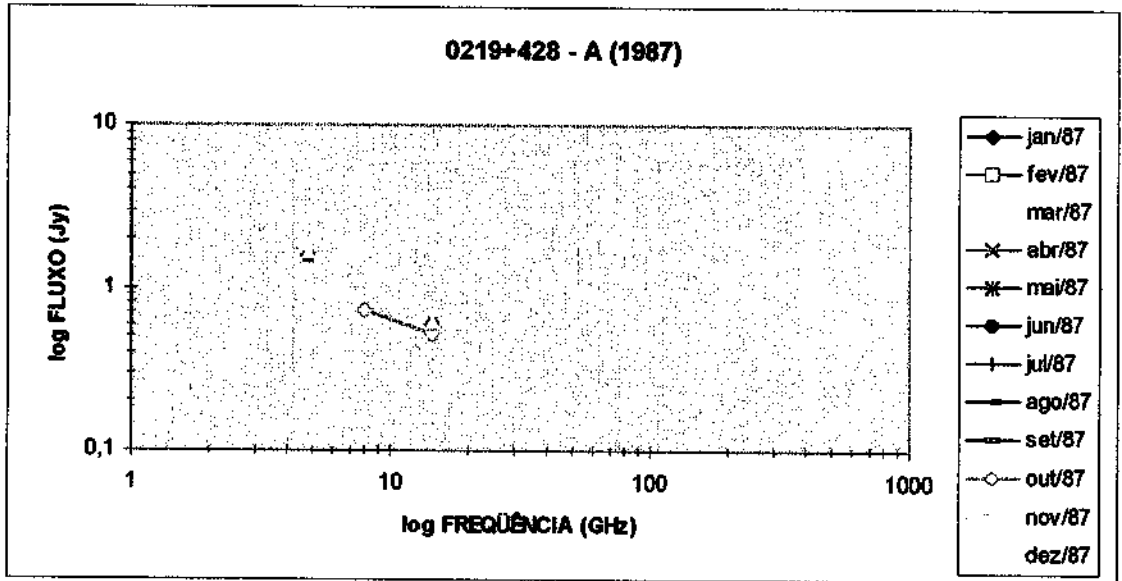


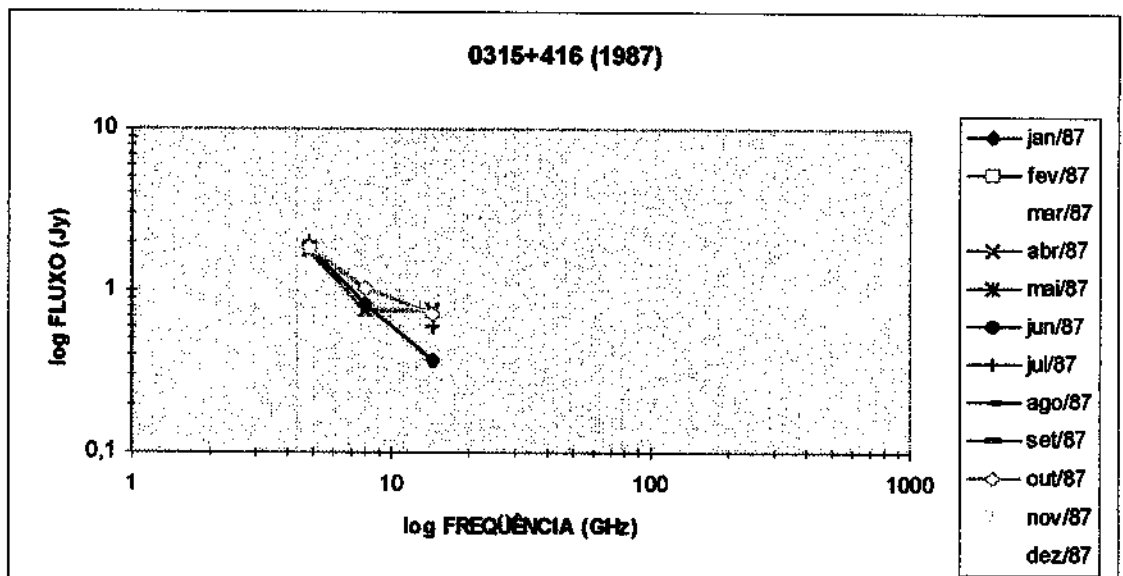
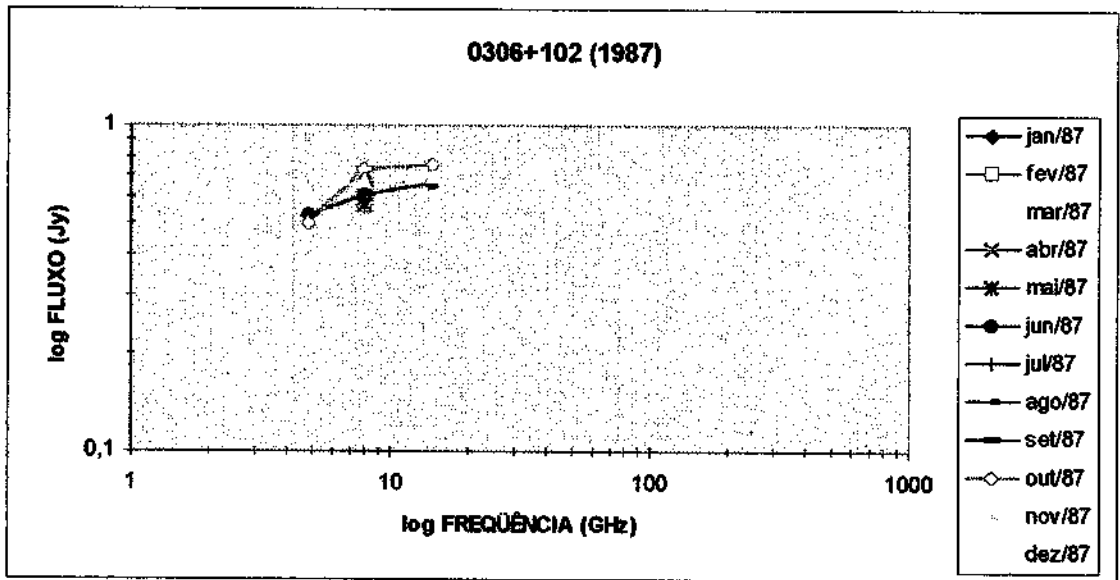
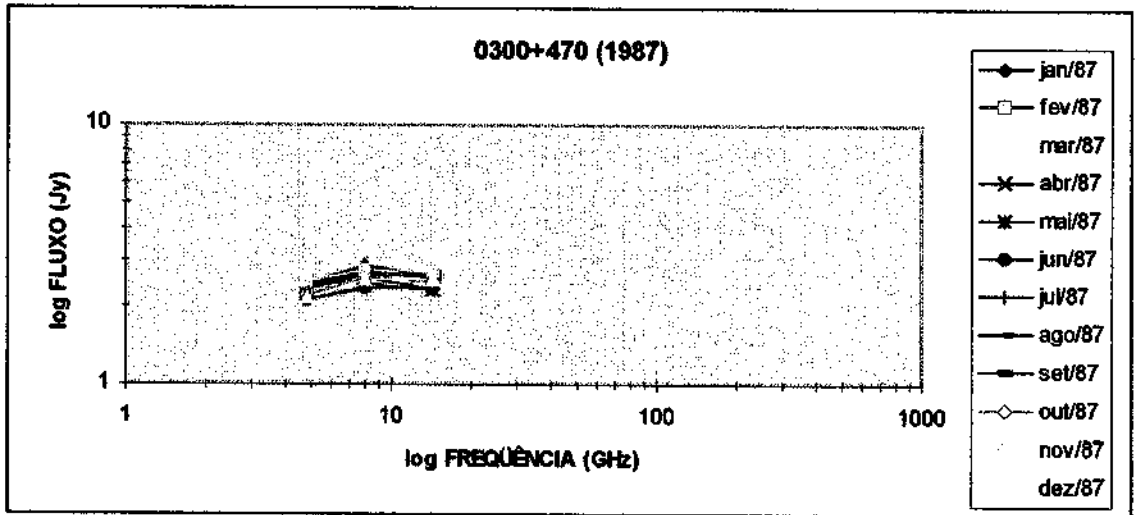


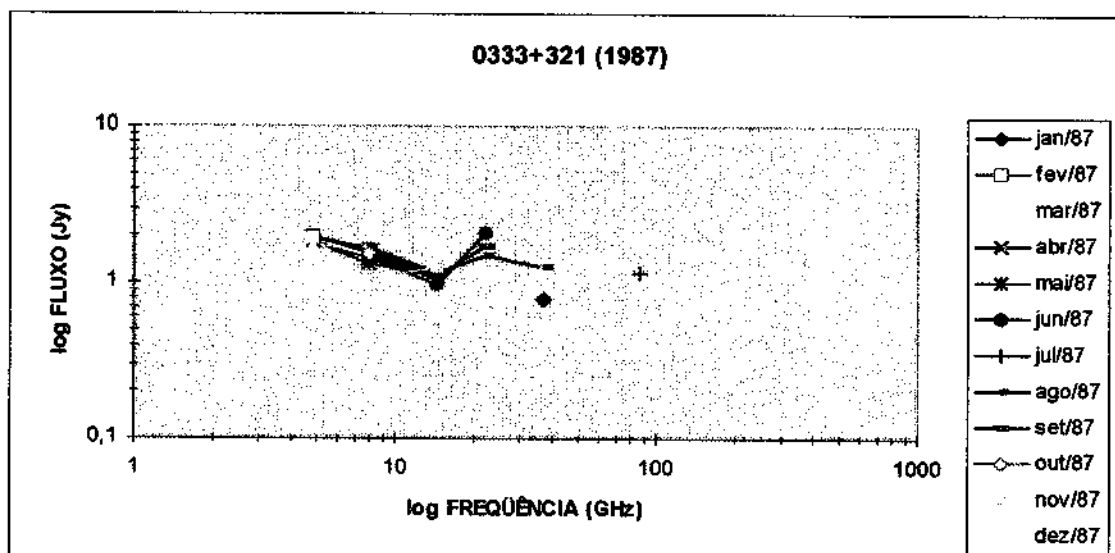












6 - CONCLUSÕES

- No intervalo de frequências estudado (4,8 a 230 GHz), as componentes de frequência mais alta - relacionadas às regiões mais internas de emissão da radiofonte - apresentam maior amplitude de variabilidade;
- A frequência de pico, de uma forma geral, situa-se entre 20 e 40 GHz;
- Os espectros planos que se verificam para algumas fontes são o resultado da superposição de diversas componentes sincrotrônicas;
- Muitas das fontes estudadas possuem espectro de lei de potência acima de 20-40 GHz, que corresponde à parte opticamente fina do espectro;
- Partindo do mesmo método, verificou-se semelhança com os dados obtidos por Kühr et al. (1981).

É importante ressaltar que o estudo preliminar acima demonstrado foi realizado para cada mês de observação e para cada radiofonte estudada num período de, em média, 30 anos. Incluímos aqui somente um ano de observação para uma única radiofonte devido à impossibilidade de reprodução da enorme quantidade de material neste relatório.

7 - TRABALHOS FUTUROS

A continuação deste trabalho visa a obtenção de um espectro mais completo através da busca de dados na literatura e internet nas frequências correspondentes ao óptico, infravermelho, ultravioleta, raios-x e raios gama. Além disso, a partir deste estudo inicial, serão estimados outros parâmetros importantes na caracterização das radiofontes como a temperatura de brilhaça e interpretações dos processos físicos relacionados à variação do índice espectral.

8 - SEMINÁRIOS APRESENTADOS

- Processos Radiativos: Radiação Synchrotron e Bremsstrahlung - fevereiro de 2002.

9 - SEMINÁRIOS ASSISTIDOS

Abril

2 - Dra. Jane Gregorio Hetem (IAG/USP): A Busca de Estrelas Jovens no Observatório de Pico dos Dias

9 - Dr. Luiz Cláudio Lima Botti (CRAAM/INPE): Gamma-Ray Bursts

16 - Dr. Jean-Pierre Raulin (CRAAM/Mackenzie): Primeira Detecção da Fase Impulsiva de uma Explosão Solar acima de 400 GHz

23 - Dr. Augusto Damineli (IAG/USP): Mapeamento dos Braços Espirais da Via Láctea através de Regiões HII Gigantes

10 - CURSOS EM ANDAMENTO

- **ALEMÃO - BÁSICO - ESCOLA DE LÍNGUAS MILLENNIUM**
- **FRANCÊS - BÁSICO - ESCOLA DE LÍNGUAS MILLENNIUM**
- **INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA - CRAAM**

11 - REFERÊNCIAS

ADGIE, R. L. : 1974, *Astron. J.* **79**, 846.

ADGIE, R. L., GENT, H. : 1966, *Nature* **209**, 549.

- ADGIE, R. L., CROWTHER, J. H., GENT, H. : 1972, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **159**, 233.
- BAARS, J. W. M., GENZEL, R., PAULINY-TOTH, I. I. K., WITZEL, A. : 1977, *Astron. Astrophys.* **61**, 99.
- BOLTON, J. G., SHIMMINS, A. J. : 1973, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **30**, 1.
- BOLTON, J. G., BUTLER, P. W. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **34**, 33.
- BOLTON, J. G., SHIMMINS, A. J., WALL, J. V. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **34**, 1.
- BOLTON, J. G., WRIGHT, A. E., SAVAGE, A. : 1979, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **46**, 1.
- BRANDIE, G. W., BRIDLE, A. H. : 1974, *Astron. J.* **79**, 903.
- BRAUDE, S. YA., MEGN, A. V., RASHKOVSKI, S. L., RYABOV, B. P., SHARIKIN, N. K., SOKOLOV, K. P., TKATCHENKO, A. P., ZHOUCK, I. N. : 1978, *Astrphys. Space Sci.* **54**, 37.
- BRIDLE, A. H., DAVIS, M. M., FOMALONT, E. B., LEQUEUX, J. : 1972, *Astron. J.* **77**, 405.
- BRIDLE, A. H., FOMALONT, E. B. : 1978, *Astron. J.* **83**, 704.
- BROSCHÉ, P., WADE C. M., HJELLMING, R. M. : 1973, *Asrophys. J.* **183**, 805.
- COHEN, M. H. : 1972, *Astrphys. Lett.* **12**, 81.
- COHEN, A. M., PORCAS, R. W., BROWNE, I. W. A., DAINTREE, E. J., WALSH, D. : 1977, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **84**, 1.
- COLLA, G., FANTI, C., FANTI R., FICARRA, A., FORMIGGINI, L., GANDOLFI, E., GRUEFF, G., LARI, C., PADRIELLI, L., ROFFI, G., TOMASI, P., VIGOTTIJ M. : 1970, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **1**, 281.
- COLLA, G., FANTI, C., FANTI R., FICARRA, A., FORMIGGINI, L., GANDOLFI, E., GIOIA, I., LARI, C., MARANO, B., PADRIELLI, L., TOMASI, P. : 1972, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **7**, 1.
- COLLA, G., FANTI, C., FANTI, R., FICARRA, A., FORMIGGINI, L., GANDOLFI, E., GIOIA, I., LARI, C., MARANO, B., PADRIELLI, L., TOMASI, P. : 1973, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **11**, 291.
- CONDON, J. J., JAUNCEY, D. L. : 1974 ^a, *Astron. J.* **79**, 437.
- CONDON, J. J., JAUNCEY, D. L. : 1974^b, *Astron. J.* **79**, 1220.
- CONDON, J. J., HICKS, P. D., JAUNCEY, D. L. : 1977, *Astron. J.* **82**, 692.
- CONDON, J. J., JAUNCEY, D. L., WRIGHT, A. E. : 1978, *Astron. J.* **83**, 1036.
- DOUGLAS, J. N., BASH, F. N., GHIGO, F. D., MOSELEY, G. F., TORRENCE, G. W. : 1993, *Astron. J.* **78**, 1.
- EDWARDS, T., KRONBERG, P. P., MENARD, G. : 1975, *Astron. J.* **80**, 1005.
- EKERS, J. A. (Ed.) : 1969, *Austr. J. Suppl.* **7**, 1.

- ELSMORE, B., RYLE, M. : 1976, *Mon. Not. Roy. Soc.* 174, 411.
- FOMALONT, E. B., MOFFET, A. T. : 1971, *Astron. J.* 76, 5.
- FRATER R. H., WATKINSON, A., RETALLACK, D. S., GOSS, W. M. : 1976, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 176, 487.
- GELDZAHLER, B. J., WITZEL, A. : 1980, *Astron. J.* (submitted).
- GENZEL, R., PAULINY-TOTH, I. I. K., PREUSS, E., WITZEL, A. : 1976, *Astron. J.* 81, 1084.
- GHIGO, F. D., 1977. : *Astrophys. J. Suppl.* 35, 359.
- GHIGO, F. D., OWEN, F. N. : 1973, *Astron. J.* 78, 848.
- GOWER, J. F. R., SCOTT, P. F., WILLS, P. : 1967, *Mem. Roy. Astron. Soc.* 71, 49.
- GRUEFF, G., VIGOTTI, M. : 1968, *Astrophys. Letters* 2, 113.
- GRUEFF, G., VIGOTTI, M. : 1975, *Astr. Astrophys. Suppl. Ser.* 19, 117.
- GUBBAY, J. S. : 1978, *Astron. J.* 83, 667.
- HAYNES, M., SRAMEK, R. : 1975, *Astron. J.* 80, 673.
- HÖGBON, J. A., CARLSSON, I. : 1974, *Astron. Astrophys.* 34, 341.
- HOSKINS, D. G., MURDOCH, H. S., ADAGIE, R. L., CROWTHER, J. H., GENT, H. : 1974, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 166, 235.
- HUNSTEAD, R. W., LASKER, B. M., MINTZ, B., SMITH, M. G. : 1971, *Austr. J. Phys.* 24, 601.
- HUNSTEAD, R. W. : 1972, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 157, 367.
- JOHNSTON, K. : 1979, 'VLA calibrator list', private communication.
- JOSHI, M. N. KAPAH, V. K., GOPAL KRISHNA, SARMA, N. V. G., SWARUP, G. : 1973, *Astron. J.* 78, 1023.
- JOSHI, M. N., SINGAL A. K. : 1980, *Mem. Astron. Soc. India* 2 (submitted).
- KAPAH, V. K., JOSHI M. N., KANDASWAMY, J. : 1973, *Astrophys. Lett.* 14, 31.
- KELLERMANN, K. I., PAULINY-TOTH, I. I. K. : 1973, *Astron. J.* 78, 828.
- KELLERMANN, K. I., PAULINY-TOTH, I. I. K., TYLER, W. C. : 1968, *Astron. J.* 73, 298.
- KELLERMANN, K. I., PAULINY-TOTH, I. I. K., DAVIES, M. M. : 1968 b, *Astrophys. Lett.* 2, 105.
- KELLERMANN, K. I., PAULINY-TOTH, I. I. K. WILLIAMS, P. J. S. : 1969, *Astrophys. J.* 157, 1.

- KÜHR, H. : 1977, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **29**, 139.
- KÜHR, H. : 1980, Ph. D. dissertation, Bonn.
- KÜHR, H., Nauber, U., PAULINY-TOTH, I. K., WITZEL, : 1979, MPIfR Preprint Nr 55
- KÜRH, H., PAULINY-TOTH, I. K., WITZEL, A., SCHMIDT J. : 1980, *Astron. J.* (submitted).
- LASKER, B. M., SMITH, M. G. : 1974, *Austr. J. Phys.* **27**, 135.
- MACDONALD, G. H., KENDERINE S., NEVILLE, Ann C. : 1968, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **138**, 259.
- MACKAY, C. D. : 1969, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **145**, 31.
- MCEWAN, N. J., BROWNE, I. W. A., CROWTHER, J. H. : 1975, *Men. Roy. Astron. Soc.* **80**, 1.
- O'DELL, S. L., PUSCHELL, J. J., STEIN, W. A., OWEN, F., PORCAS, R. W., MUFSON, S., MOFFETT, T. J., ULRICH, M. H. : 1978, *Astrophys. J.* **224**, 22.
- OWEN, F. N., MUFSON, S. L. : 1977, *Astron. J.* **82**, 776.
- OWEN, F. N., PORCAS, R. W., NEFF, SUSAN G. : 1978, *Astron. J.* **83**, 1009.
- OWEN, F. N., PORCAS, R. W., MUFSON, S. L., MOFETT, T. J. : 1978, *Astron. J.* **83**, 685.
- OWEN, F. N., SPANGLER, S. R., COTTON, W. D. : 1980, *Astron. J.* **85**, 351.
- PAULINY-TOTH, I. I. K., WADE, C. M., HEESCHEN, D. S. : 1966, *Astrophys. J. Suppl.* **116**, 65.
- PAULINY-TOTH, I. I. K., KELLERMAN, K. I., DAVIS, M. M., FOMALONT, E. B., SHAFFER, D. B. : 1972, *Astron. J.* **77**, 265.
- PAULINY-TOTH, I. I. K., KELLERMAN, K. I. : 1972b, *Astron. J.* **77**, 797.
- PAULINY-TOTH, I. I. K., WITZEL, A., PREUB, E., KÜHR, H., KELLERMAN, K. I., FOMALONT, E. B., DAVIS, M. M. : 1978, *Astron. J.* **83**, 451.
- PILKINGTON, J. D. H., SCOTT, P. F. : 1965, *Men. Roy. Astron. Soc.* **69**, 183.
- POOLEY, G. G., HENBEST, S. N. : 1974, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **176**, 487.
- PORCAS, R. W., URRY, C. M., BROWNE, I. W. A., COHEN, A. M., DAINTREE, E. J., WALSH, D. : 1980, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **191**, 607.
- SAVAGE, A., WRIGHT, A. E., BOLTON, J. G. : 1977, *Aust. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **44**, 1.
- SCHWARTZ, P. R., WAAK, J. A. : 1978, *Astron. J.* **83**, 683.
- SHARP, J. R., BASH, F. N. : 1975, *Astron. J.* **80**, 335.

- SHIMMINS, A. J. : 1971, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **21**, 1.
- SHIMMINS, A. J., CLARKE, MARGARET, E., ETERS, R. D. : 1966, *Austr. J. Phys.* **19**, 649.
- SHIMMINS, A. J., DAY, G. A. : 1968, *Austr. J. Phys.* **21**, 377.
- SHIMMINS, A. J., MANCHESTER, R. N., HARRIS, B. J. : 1969, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **8**, 1.
- SHIMMINS, A. J., BOLTON, J. G. : 1972a, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **23**, 1.
- SHIMMINS, A. J., BOLTON, J. G. : 1972b, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **26**, 1.
- SHIMMINS, A. J., WALL, J. V. : 1973, *Austr. J. Phys.* **26**, 93.
- SHIMMINS, A. J., BOLTON, J. G. : 1974, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **32**, 1.
- SHIMMINS, A. J., BOLTON, J. G., WALL, J. V. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **34**, 63.
- SINGAL, A. K., GOPAL KRISHNA, VENUGOPAL, V. R. : 1979, *Men. Astron. Soc. India* **1**, 1.
- SLEE, O. B. : 1977, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **43**, 1.
- SLEE, O. B., HIGGINS, C. S. : 1973, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **27**, 1.
- SLEE, O. B., HIGGINS, C. S. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **36**, 1.
- SWARUP, G., KAPAH, V. K., SARMA, N. V. G., GOPAL KRISHMA, JOSHI, M. N., RAO, A. P. : 1971, *Astrophys. Letters* **9**, 53.
- VÉRON, P. : 1977, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **30**, 131.
- VÉRON, P., VÉRON, M. P., WITZEL, A. : 1972, *Astron. Astrophys.* **18**, 82.
- VÉRON, M. P., VÉRON, P. : 1974, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **18**, 309.
- VÉRON, M. P., VÉRON, P., ADGIE, R. L., GENT, H. : 1976, *Astron. Astrophys.* **47**, 401.
- VÉRON, M. P., VÉRON, P. : 1979, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **36**, 331.
- VÉRON, M. P., VÉRON, P. : 1980, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **40**, 191.
- WINER, M. R., ERICKSON, W. C. : 1975, *Astron. J.* **80**, 931.
- WADE, C. M., MILEY, G. K. : 1971, *Astron. J.* **76**, 101.
- WALL, J. V., SHIMMINS, A. J., MERKELIJN, J. K. : 1971, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **19**, 1.
- WALL, J. V., CANNON, R. D. : 1973, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **31**, 1.
- WALL, J. V., SHIMMINS, A. J., BOLTON, J. G. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **34**, 55.

- WALL, J. V., WRIGHT, A. E., BOLTON, J. G. : 1976, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **39**, 1.
- WILLIAMS, P. J. S., KENDERDINE, S., BALDWIN, J. E. : 1966, *Men. Roy. Astron. Soc.* **70**, 53.
- WILLS, B. J. : 1975, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **38**, 1.
- WITZEL, A., VÉRON, P., VÉRON, M. P. : 1971, *Astron. Astrophys.* **11**, 171.
- WITZEL, A., PAULINY-TOTH, I. I. K., GELDZAHLER, B. J., KELLERMANN, K. I. : 1978, *Astron. J.* **83**, 475.
- WITZEL, A., SCHMIDT, J., PAULINY-TOTH, I. I. K., NAUBER, U. : 1979, *Astron. J.* **84**, 942.
- WRIGHT, A. E., SAVAGE, A., BOLTON, J. G. : 1977, *Austr. J. Phys. Astrophys. Suppl.* **41**, 1.

RELATÓRIO 1

ESTUDO DA EVOLUÇÃO ESPECTRAL DE RADIOFONTES EXTRAGALÁCTICAS

**Bolsista (CNPQ, INPE):
Márcio Ribeiro Gastaldi**

**Orientador:
Dr. Luiz Cláudio Lima Botti**

Título do Projeto:

Estudo da evolução Espectral de Radiofontes Extragalácticas

I. Introdução

I. 1 - Objetivos

1. Fazer observações na grande antena do Itapetinga, nas frequências de 22 e 43 Ghz , objetivando o conhecimento da evolução do espectro de diversos quasares, objetos BL Lacertae e núcleos ativos de galáxias.
2. Utilizar os dados do radiotelescópio de Michigan (USA) em 4,8, 8,0 e 14,5 Ghz, com os quais será possível obter informações da parte opticamente espessa do espectro de várias radiofontes. Este será um trabalho de colaboração entre pesquisadores do Brasil e Estados Unidos.
3. Utilizar dados do observatório de Metsahovi (Finlândia), com o qual existe colaboração desde 1989 com o Itapetinga, nas frequências de 37 Ghz e 90 Ghz.
4. Utilizar dados do radiotelescópio do SEST (Chile) em 90 e 230 Ghz.
5. Obter dados da literatura no óptico, infravermelho, ultravioleta, raios-x e raios gama, para se ter uma idéia de todo o espectro.
6. Fazer uma investigação da evolução temporal do espectro das radiofontes extragalácticas, obtendo-se dados na literatura desde a descoberta dos quasares.
7. Introduzir o aluno no método científico.
8. A lista de fontes compreenderá radiofontes que tanto podem ser observadas do Hemisfério Norte quanto do Hemisfério Sul, obtidas de catálogos como o de Kuhr et al. (1981) e mais recentemente, do SEST (Tornikoviski et al., 1993)

I. 2 - Metodologia

1. Fazer observações no Itapetinga de fontes calibradoras como Júpiter, Vênus, Virgo A, G298.2-03, tendo-se o cuidado de se observar a calibradora mais próxima da radiofonte em estudo, para se obter condições semelhantes de céu.
2. A técnica utilizada será a de varreduras. Cada varredura terá a duração de 20s. Cada observação terá 30 varreduras. Para a obtenção da temperatura de antena da radiofonte

serão necessárias 12 observações em 22 e 43 Ghz, para radiofontes com densidade de fluxo baixa (<1 Jy). Fontes mais fortes requerem menor tempo de integração.

3. O apontamento precisará ser verificado e para isso serão feitas varreduras em azimute e elevação das fontes calibradoras e as fontes alvo mais fortes e pontuais (>30 Jy).
4. A calibração do sistema será feita com um load externo, um tubo de ruídos (noise tube) e uma fonte de ruídos (noise source) com temperaturas conhecidas. Também será utilizado nitrogênio líquido para que os parâmetros do sistema sejam bem determinados. Sendo assim, será possível conhecer a temperatura do sistema com precisão.
5. Medidas da profundidade óptica também deverão ser estimadas.
6. Análise dos dados do radiotelescópio de Michigan em 4,8, 8 e 14,5 Ghz.
7. Análise dos dados do SEST e Metsahovi em 37, 90 e 230 Ghz.
8. Obtenção de espectros em sucessivas épocas, em períodos da ordem de mês, para se compreender sua evolução.

I. 3 - Descrição geral do Equipamento Utilizado e da Técnica Observacional

O rádio-observatório de Itapetinga possui receptores nas frequências de 22, 30, 43 e 90 Ghz, sendo as frequências de 22 e 43 Ghz as mais utilizadas.

Também há um receptor criogênico que trabalha entre as frequências de 21,7 e 24,1 Ghz.

O rádio-telescópio tem um prato parabólico refletor de 13,7m de diâmetro, tendo desenho Cassegrain e montagem altazimutal. Encontra-se no interior de uma redoma de 22 metros de diâmetro, fabricada de plástico especial que reduz consideravelmente o desgaste, pela ação do tempo, dos componentes da antena e facilita a estabilidade de apontamento, evitando as deformações devido à variações de temperatura.

As cornetas utilizadas de 22 e 43 Ghz são retangulares e sensíveis à componente vertical do vetor campo elétrico. As larguras à meia potência são 4,2' e 2,1' em 22 e 43 GHz, respectivamente. Os receptores tem 1 Ghz de banda lateral dupla e temperatura de sistema da ordem de 700 K. Com essa temperatura de sistema e a banda utilizada, é possível detectar radiofontes com densidade de fluxo de 1 Jy, em duas horas de observação. A técnica utilizada é a de varreduras ("scan"), que consiste em varrer com o feixe da antena a radiofonte. Cada "scan" tem a duração de 20s. Neste tempo integra-se sobre a fonte por cerca de 6s. O restante do tempo é utilizado para frear a antena e obter medidas do céu em torno da fonte.

É utilizado o método “Total Power”, ou seja, mediu-se a potência total de ruído da fonte e do receptor, cujos amplificadores têm resposta linear. Para se obter uma determinação precisa da temperatura de antena correspondente à radiofonte, é necessário fazer uma calibração, utilizando-se uma carga (LOAD), um tubo de ruído (NT) ou uma fonte de ruído (NS). Os dados são analisados com o programa DRAWSPEC, que fornece a temperatura máxima de antena, o feixe da antena, etc., fazendo-se ajustes da linha de base, polinômios e gaussianas.

Como os dados recebidos pelo rádio-telescópio não estão no formato DRAWSPEC, são convertidos por outro programa.

I. 4 - Diagrama em blocos do receptor

O primeiro estágio na detecção do sinal é um dispositivo de microondas projetado especificamente para a parábola para a frequência em estudo, que irá coletar a energia refletida por esta, sendo constituído de um guia de onda que tem forma de pirâmide, a “corneta” (1). Após a corneta, há o amplificador de rádio-frequência (2), que possui baixo ganho e amplifica até dez vezes o sinal. Outro elemento importante é o misturador (3), que fará o produto entre o sinal de rádio-frequência com o do oscilador local (4), resultando em uma frequência intermediária mais baixa. Um atenuador (5) situa-se entre o oscilador local e o misturador. Acoplado ao misturador, há um pré-amplificador de 30dB. Geralmente ambos ficam na mesma caixa para evitar perdas de sinal. O oscilador local gera um sinal com potência entre 1 e 100mW. Após este estágio existe um atenuador (7) que isola o amplificador de FI (8) do pré-amplificador (6). Sua função principal é acertar a faixa de trabalho do detector quadrático. Um amplificador de ganho 60dB também fornece um nível adequado para o receptor quadrático (9). Nesse estágio o sinal já apresenta uma voltagem adequada para ser medida. No próximo estágio há um amplificador (10) de 40dB que tem baixo nível de ruído, com banda passante de alguns KHz. No estágio seguinte (11) subtrai-se a voltagem correspondente ao sistema e aumenta-se o ganho de 40dB (12) obtendo-se a voltagem correspondente ao sinal da fonte, onde pode ser integrado através de um filtro cujo efeito pode ser obtido por um integrador com constante de tempo de aproximadamente 50ms. O sistema de aquisição de dados é realizado no estágio 13. O sinal de referência (14) pode ser uma carga (load) à temperatura ambiente como um tubo de ruído (noise tube) ou uma fonte de ruído (noise source) de temperatura conhecida.

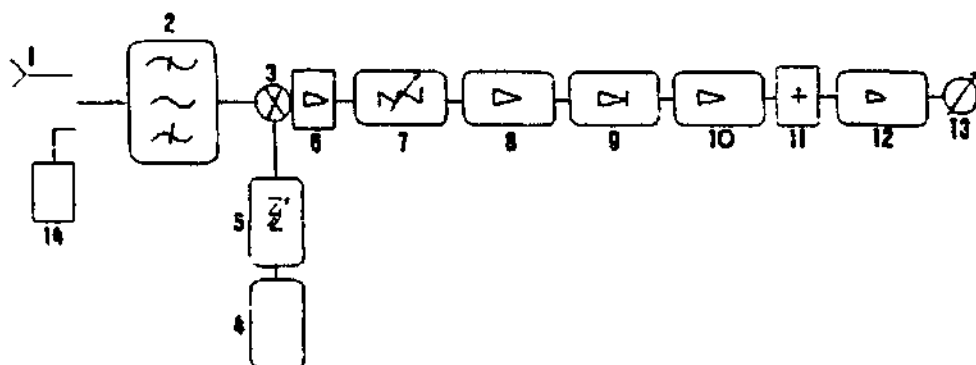


Figura N°I – Diagrama em blocos do receptor.

II - Sobre os dados coletados, seu processamento e apresentação

O estudo das fontes abaixo caracterizadas foi feito unicamente, devido à impossibilidade de uso da antena do Itapetinga, com a utilização de dados de outros radiotelescópios, principalmente o radiotelescópio da Universidade de Michigan, que realiza observações diárias nas frequências de 4,8, 8,0 e 14,5 GHz.. Foram feitas comparações entre os resultados dos vários espectros obtidos a partir das fontes estudadas e os dados disponíveis na literatura (Kühr et al. - 1981).

Este estudo teve como base a evolução do espectro de variadas radiofontes. Foi feita uma busca por esses dados nos catálogos acima mencionados, tendo como limite temporal inferior, janeiro do ano de 1965 (a partir de quando temos dados disponíveis em Michigan) e como limite temporal superior, dezembro do ano de 2000.

Os dados foram organizados e foi utilizado o programa EXCEL para a obtenção dos gráficos de densidade de fluxo que serão mostrados a seguir.

Utilizando o mesmo programa, foi elaborado o espectro de cada radiofonte. O método utilizado difere do método utilizado em Kühr et al. no seguinte aspecto: em Kühr et al, os dados exibidos datam de um intervalo de tempo que, variando ligeiramente de acordo com cada radiofonte, vai de 1965 até 1980 (data da publicação do artigo). Isso não nos permite a visualização da EVOLUÇÃO do espectro de cada radiofonte, pois o espectro foi composto por dados de épocas diferentes e cobrindo um intervalo de tempo muito grande. Conseqüentemente, não nos permite a comparação da atividade em diferentes épocas das radiofontes. No nosso estudo, o gráfico de espectro é constituído por um conjunto de curvas, cada uma correspondendo a um ano e cada qual constituída de três pontos (espectro coberto pela antena do rádio-observatório de Michigan). Para isso, foi usado arbitrariamente o mês de junho de cada ano para que haja um padrão na época de observação. Na impossibilidade de se usar o mês de junho, foi usado um outro mês.

Para os gráficos de espectro das radiofontes, convém ressaltar que foram feitas aproximações dos pontos dispersos para curvas polinomiais de um grau qualquer usando, para isso, um recurso do EXCEL.

O espectro de cada radiofonte é uma espécie de “assinatura” que o caracteriza. Podemos deduzir importantes interpretações a partir dele. O relatório 2 tratará da apresentação dessas interpretações.

III - Apresentação dos resultados

Segue uma lista dos gráficos de Densidade de Fluxo X Tempo, seus respectivos espectros, uma comparação com o espectro obtido de forma diversa, como discutido anteriormente, em Kühr et al. e interpretações preliminares sobre o ciclo de atividade dessas radiofontes. Existirão fontes cujos espectros serão interpretados unicamente tendo em vista os resultados obtidos a partir de Michigan, visto que não constam do catálogo de Kühr et al.

0007+106

A primeira fonte estudada foi a fonte de coordenadas 0007+106. Começamos por uma fonte que não consta do catálogo acima mencionado. Será, portanto, analisada em 3 frequências. Vejamos os resultados.

FLUXO X TEMPO [0007+106 (III ZW2)]

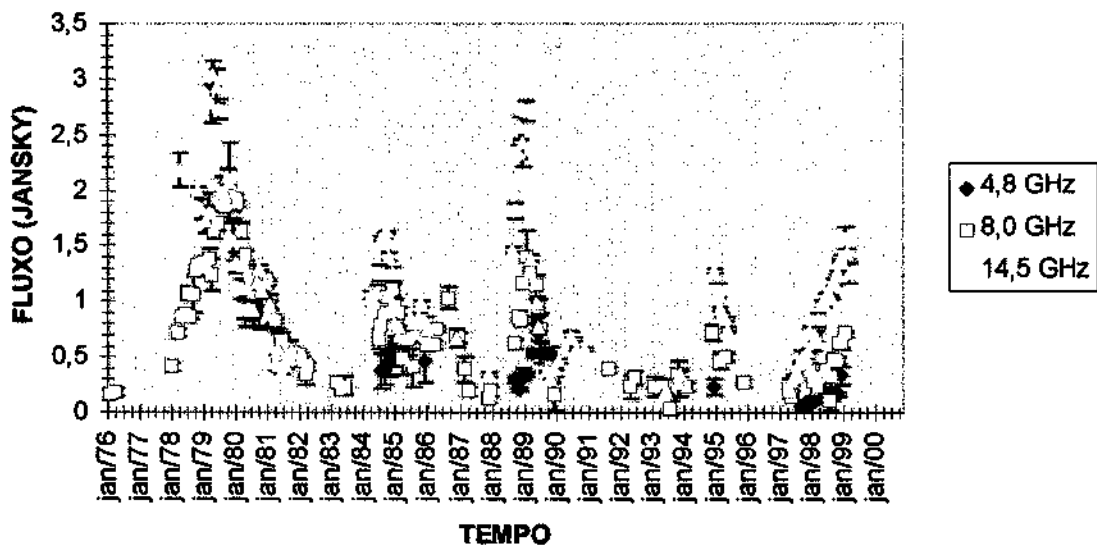


Figura 1: Gráfico de Densidade de Fluxo X Tempo 0007+106 (Michigan)

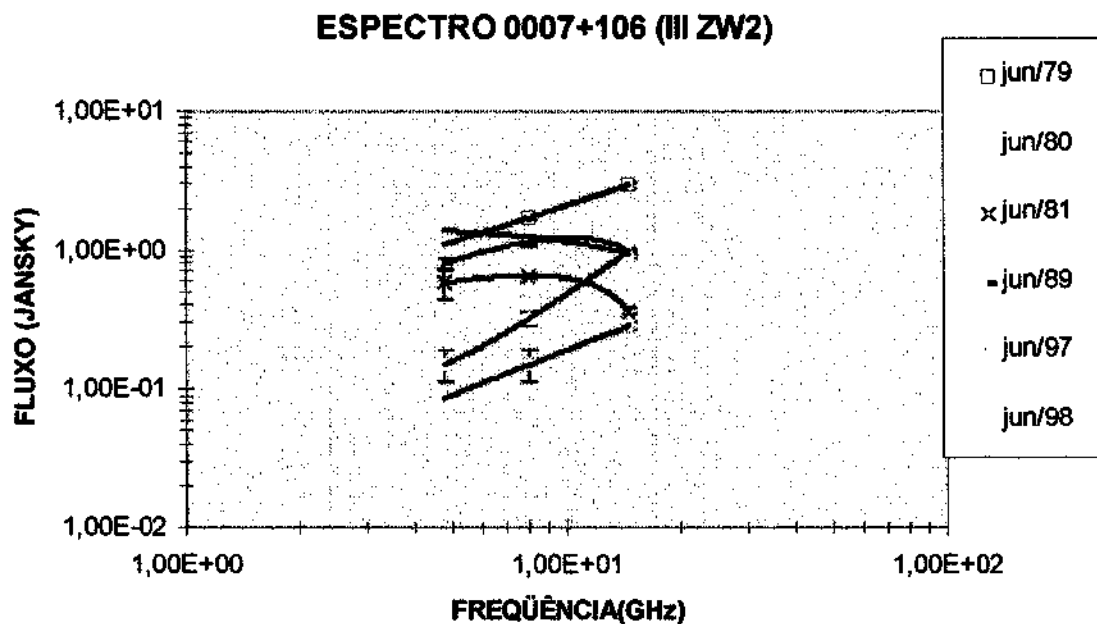


Figura 2: Espectro 0007+106 (Michigan).

Como podemos notar pela figura 1, a radiofonte 0007+106 exibe uma densidade de fluxo da escala de 0 a 3,5 Jy, variando de intensidade proporcionalmente com a frequência para um dado tempo e tendo seu fluxo diminuído conforme avançamos no tempo.

A figura 2 mostra o espectro de 0007+106. Foram feitas aproximações para polinomiais de grau 2. Em 1979 a radiofonte se encontra em um período de alta atividade. Avançando no tempo, como podemos notar, há uma queda de atividade, o que é evidenciado pelas curvas situadas abaixo da curva correspondente a junho de 1979.

Junho de 1981 nos dá o primeiro período de mínimo, após o qual há um novo crescimento evidenciado pela curva de 1989 que, por sua vez, será seguido pela segunda curva que evidencia um período de mínima atividade(1997), sendo esta, a curva de mínima atividade em todo o período estudado. A curva de junho de 1998 mostra um novo período de crescimento na atividade.

FLUXO X TEMPO (0048-097)

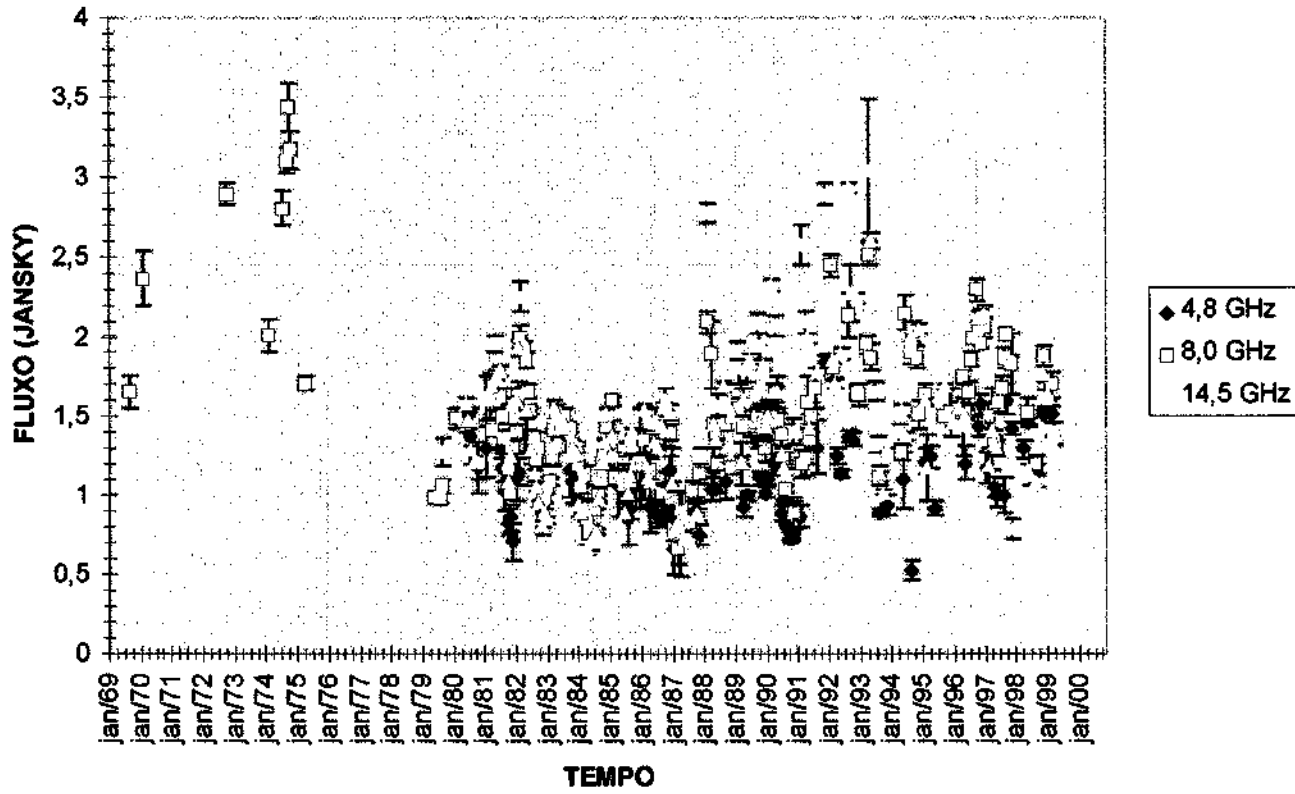


Figura 3:Gráfico de Densidade de Fluxo X Tempo 0048-097 (Michigan)

ESPECTRO 0048-097

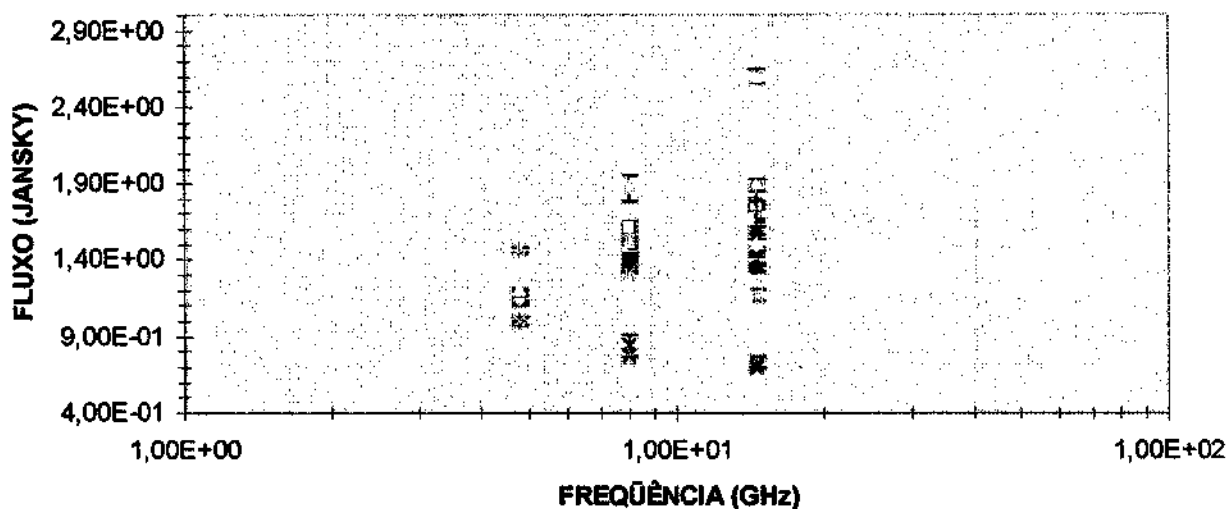


Figura 4: Espectro 0048-097 (Michigan)

Olhando a figura 3, notamos que somente a partir de aproximadamente 1980 temos um gráfico de dispersão nas três frequências. Antes disso, tínhamos somente dados em 8 GHz. Portanto, para a obtenção de uma curva de espectro, utilizaremos os dados obtidos a partir dessa data, visto que o gráfico de espectro é Fluxo X Frequência.

Pode-se notar grande variabilidade nesta radiofonte, com amplitudes que variam de 1,5 a 2,0 Jy.

O espectro de Kühr não será utilizado nessa análise, pois nossa análise engloba dados no intervalo de tempo de 1980 até 2000. O espectro apresentado por Kühr et al., como veremos a seguir, se baseia em dados em outras épocas.

Os pontos usados para a composição do espectro em Kühr et al. foram obtidos nos seguintes catálogos e nas seguintes épocas: Sharp and Bash (1975); Kellermann and Pauliny-Toth (1968/69); Wills (1975); Wall et al. (1976); Condon et al. (1977/78); Shimmins and Wall (1973); Pauliny-Toth, Preuss and Witzel (1972); Geldzahler and Witzel (1980).

Algumas nuances presentes na figura 4 não ficam tão claras devido à quase sobreposição de alguns dados. Desmembramos um pouco o gráfico da figura 4 para que possamos compreendê-lo melhor.

ESPECTRO PARCIAL: 1981, 1982, 1983

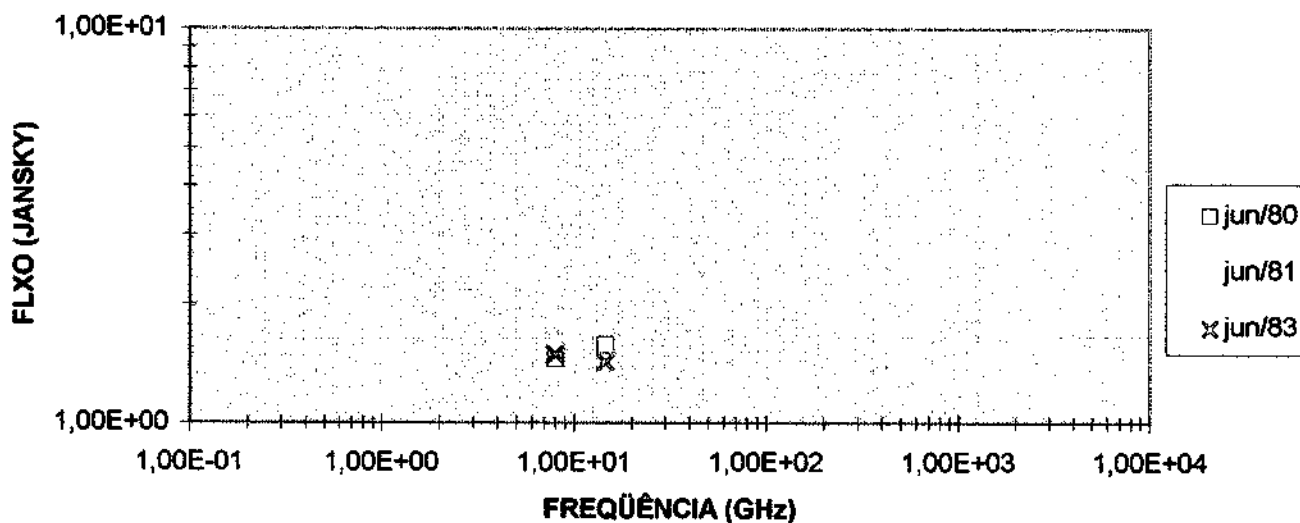


Figura 5 : Espectro parcial composto pelas três freqüências de Michigan em três anos diferentes: 1980, 1981 e 1982

De 1980 para 1981, temos um crescimento na atividade, com uma nova queda evidenciada pela curva correspondente ao ano de 1983.

ESPECTRO PARCIAL: 1983, 1984, 1987 E 1988

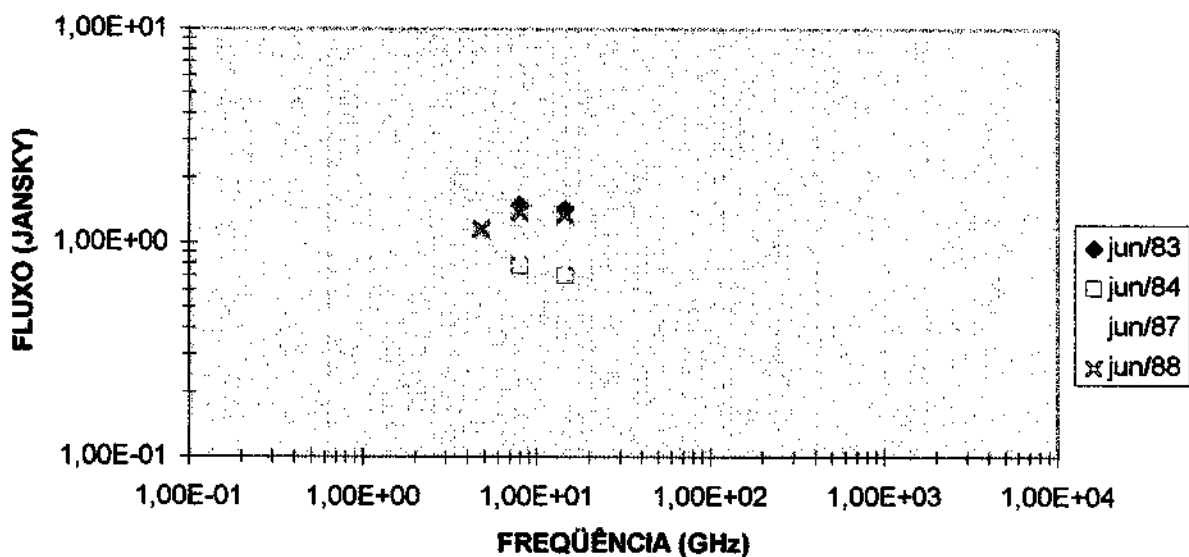


Figura 6: Continuação da série de espectros parciais para a fonte 0048-097.

Na figura 6, comparando as várias curvas sugeridas pelas diferentes datas, notamos que a tendência de decréscimo que se manifesta de 1981 para 1983 e continua de 1983 para 1984. A partir de 1984 e, seguindo a tendência expressa pela curva de 1988, notamos um crescimento na atividade.

ESPECTRO PARCIAL: 1988, 1989, 1990 E 1991

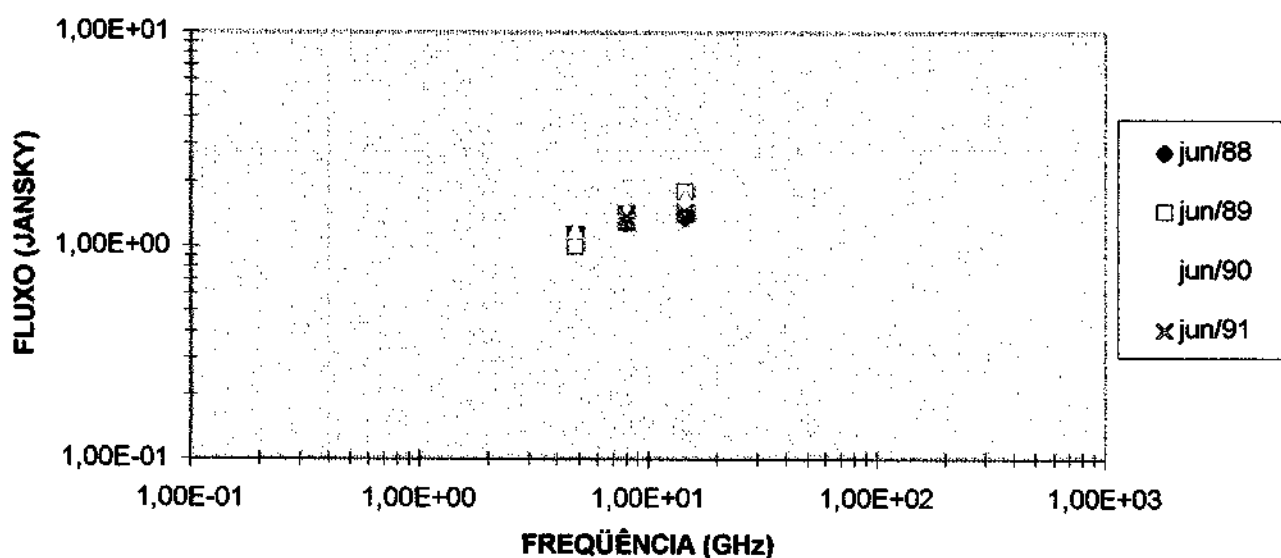


Figura 7: Continuação da série de espectros referentes à fonte 0048-097.

Este período é caracterizado por uma nova tendência de crescimento na atividade.

ESPECTRO PARCIAL: 1991, 1992, 1993 E 1996

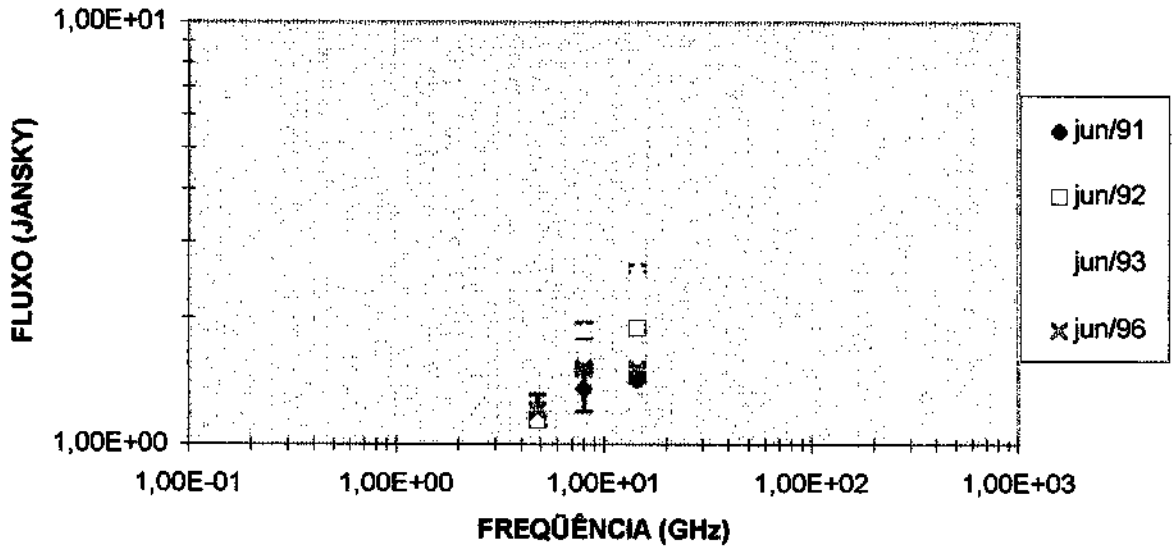


Figura 8: Continuação.

Na figura 8, a partir de 1991, a atividade se acentua, atingindo o máximo em 1993 e voltando a decrescer, o que é mostrado pela curva sugerida pelo ano de 1996.

ESPECTRO PARCIAL: 1996, 1997 E 1998

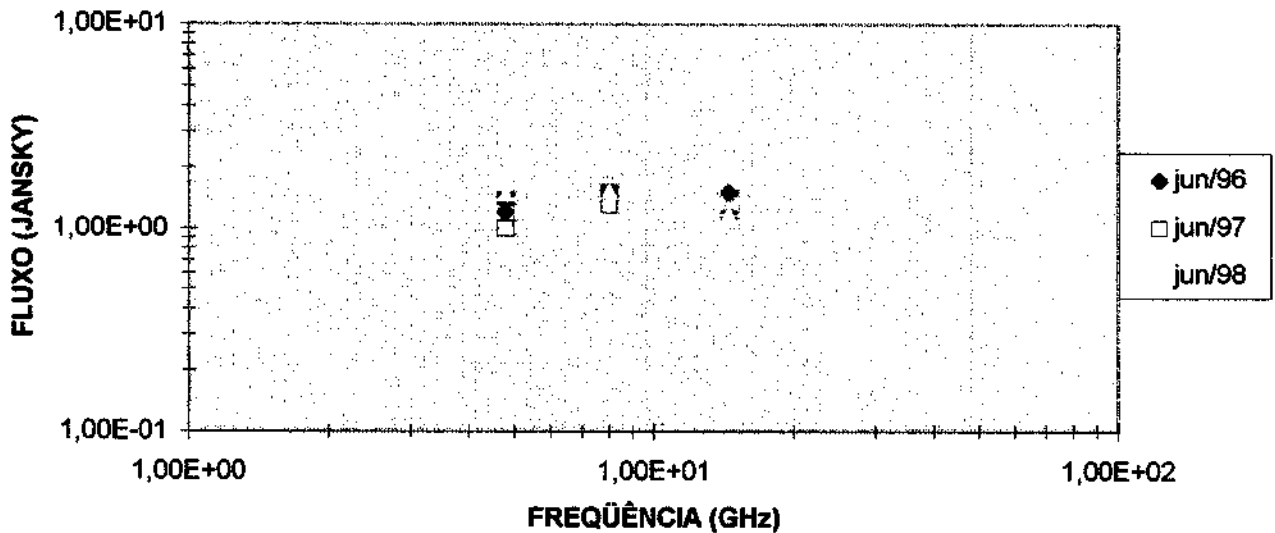


Figura 9: Continuação.

A figura 9 mostra o máximo de atividade. É interessante notar que a tendência ao ponto de máximo no espectro surge primeiro em uma dada frequência, e vai se estendendo às

demais. Na figura 9 e, de forma geral, para essa radiofonte como um todo, o ponto de máximo no espectro aparece na frequência de 14,5 GHz em primeiro lugar, seguindo, então, para as frequências de 8,0 GHz e 4,8 GHz, nessa ordem(ver figuras 5, 6, 7, 8 e 9).

Evidentemente, há motivos para que o ponto de máximo no espectro nas diferentes frequências não coincidam no tempo. Existem teorias que buscam explicar tais acontecimentos. Tais interpretações desse fenômeno físico serão objeto de estudo neste segundo semestre de atividade.

0059+581

Esta fonte possui um número insuficiente de dados para uma análise mais rigorosa como no caso da fonte anterior. Limitaremos nossa análise à simples observação do gráfico de densidade de fluxo X tempo.

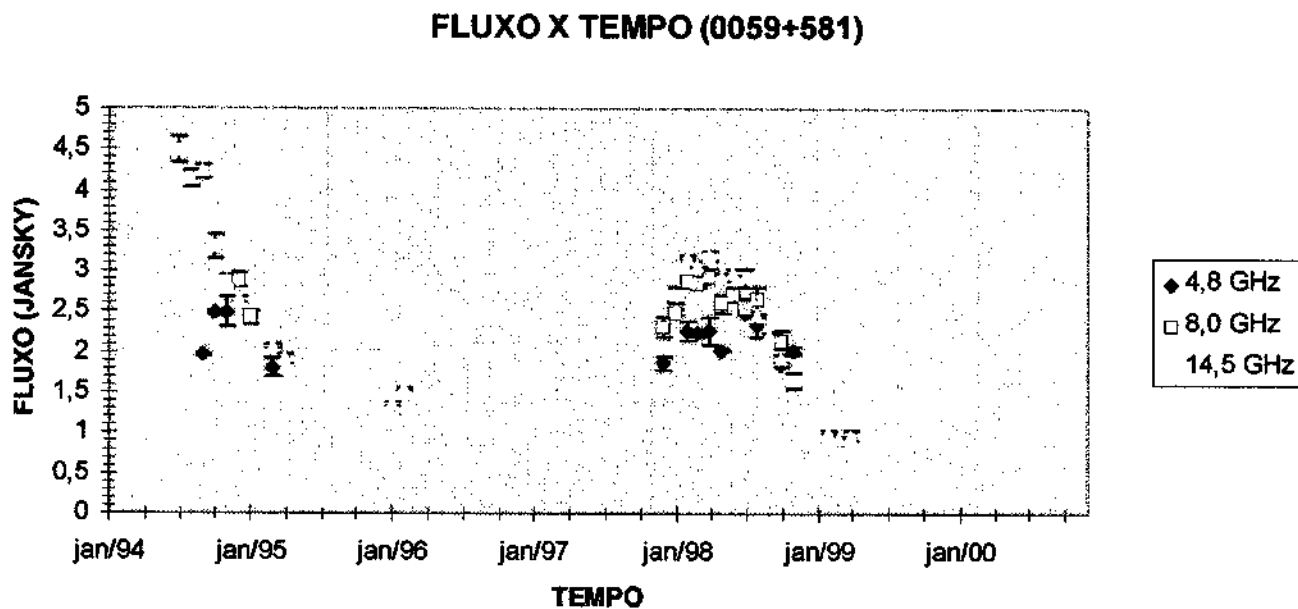


Figura 10: Densidade de Fluxo X Tempo 0059+581 (Michigan).

0106+013

FLUXO X TEMPO (0106+013)

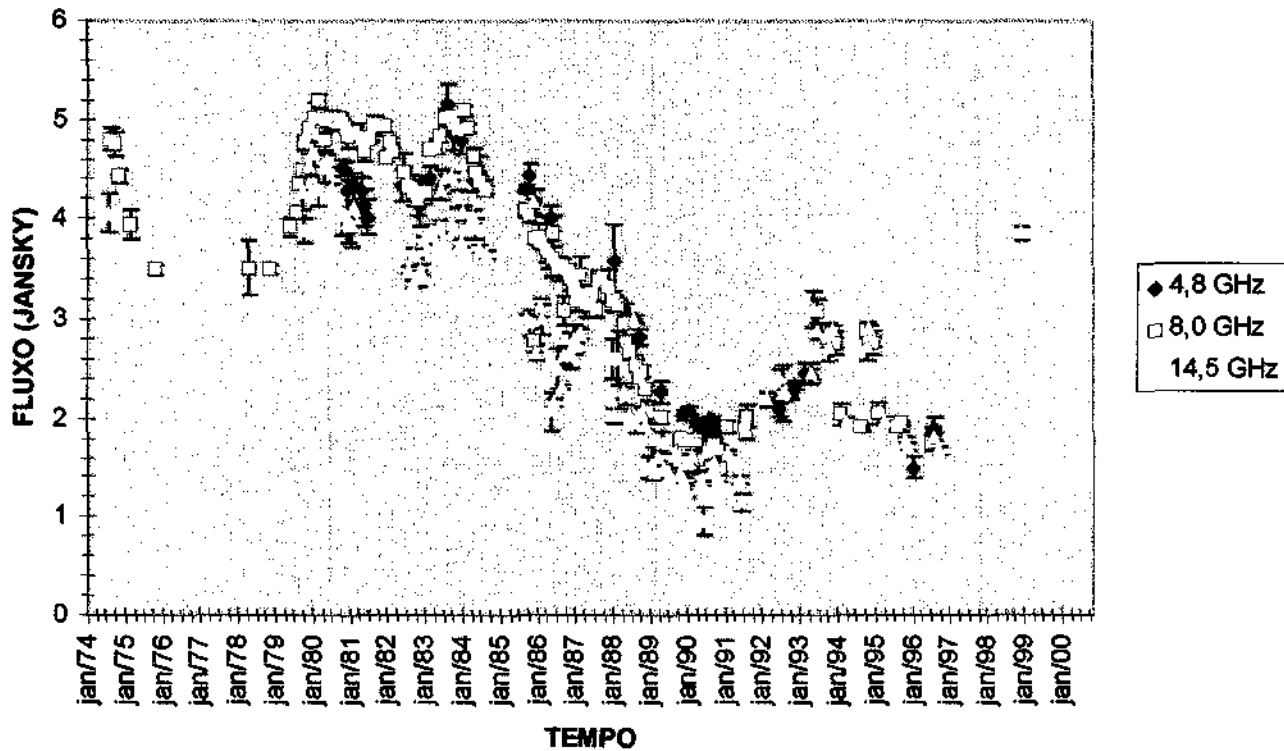


Figura 11: Densidade de Fluxo X Tempo 0109+013 (Michigan)

Neste caso, apresentaremos o espectro num único gráfico (figura 12). Segue, como temos feito, uma análise simples sobre a atividade dessa fonte. O espectro de Kühr et al. (figura 13) se mostra, novamente, fora das nossas necessidades.

ESPECTRO 0106+013

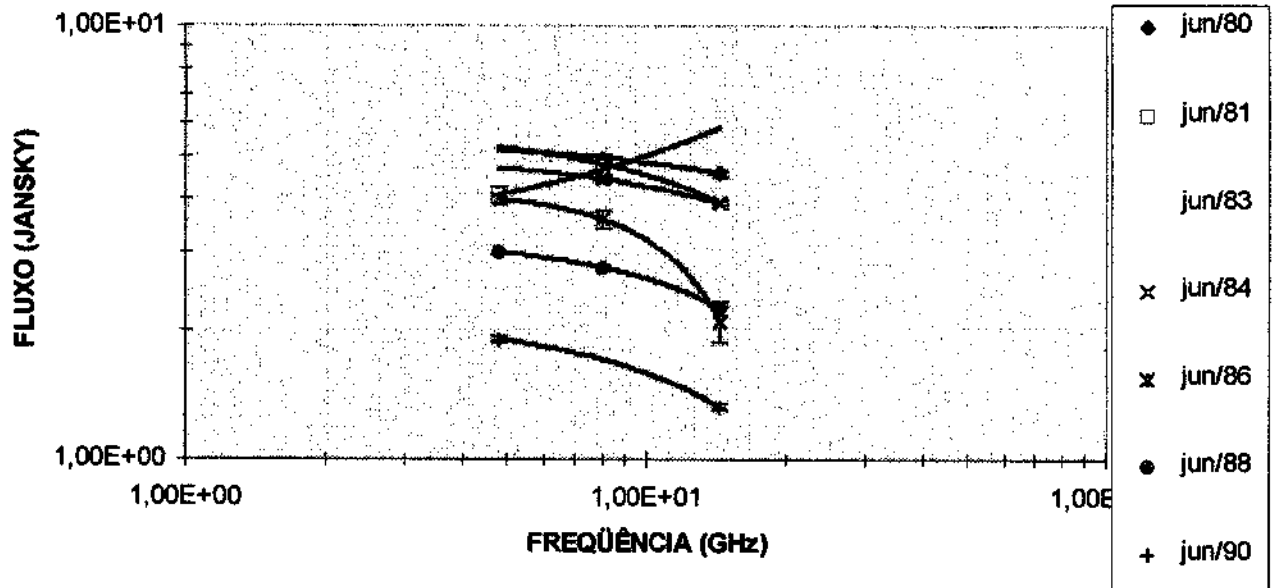


Figura 12: Espectro da fonte 0106+013 (Michigan)

ESPECTRO 0106+013

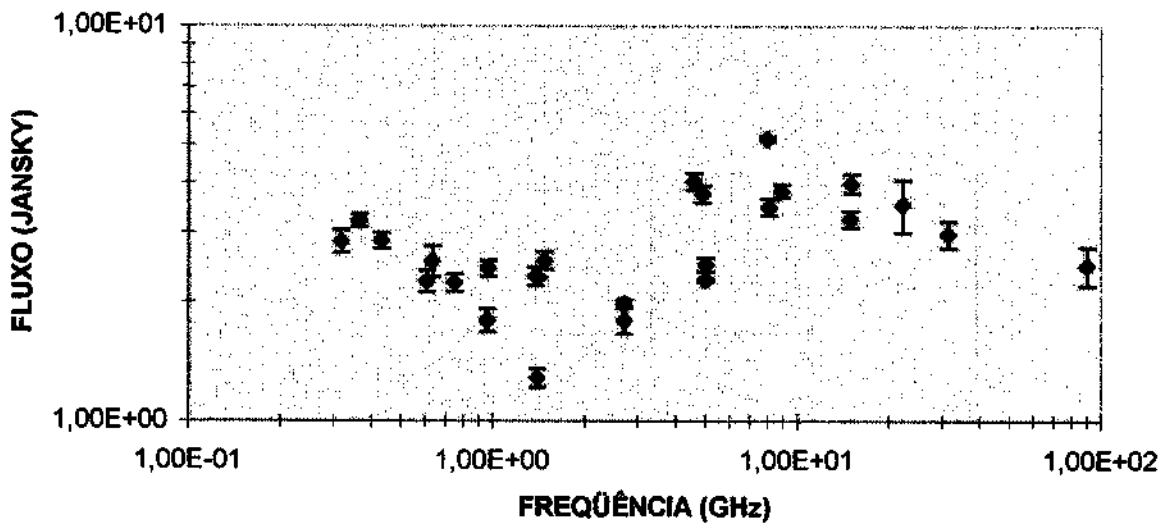


Figura 13: Espectro de Kühr et al.(1980) constituído por dados coletados de diferentes radio-observatórios e em épocas diferentes.

Olhando a figura 12, comecemos nossa análise.

A figura 12 mostra que 0106+013 tem espectro bastante variável.

0108+388

O rádio-observatório de Michigan realiza observações diárias nas frequências de 4,8 GHz, 8,0 GHz e 14,5 GHz. Às vezes, no entanto, no banco de dados do Observatório de Michigan, não temos informações disponíveis para todos os meses do ano em todas as frequências. Esta fonte é um caso em que usaremos como padrão, diferentemente de como temos feito normalmente utilizando o mês de junho, o mês de janeiro, visto que as informações que constam do mês de junho de cada ano são muito escassas.

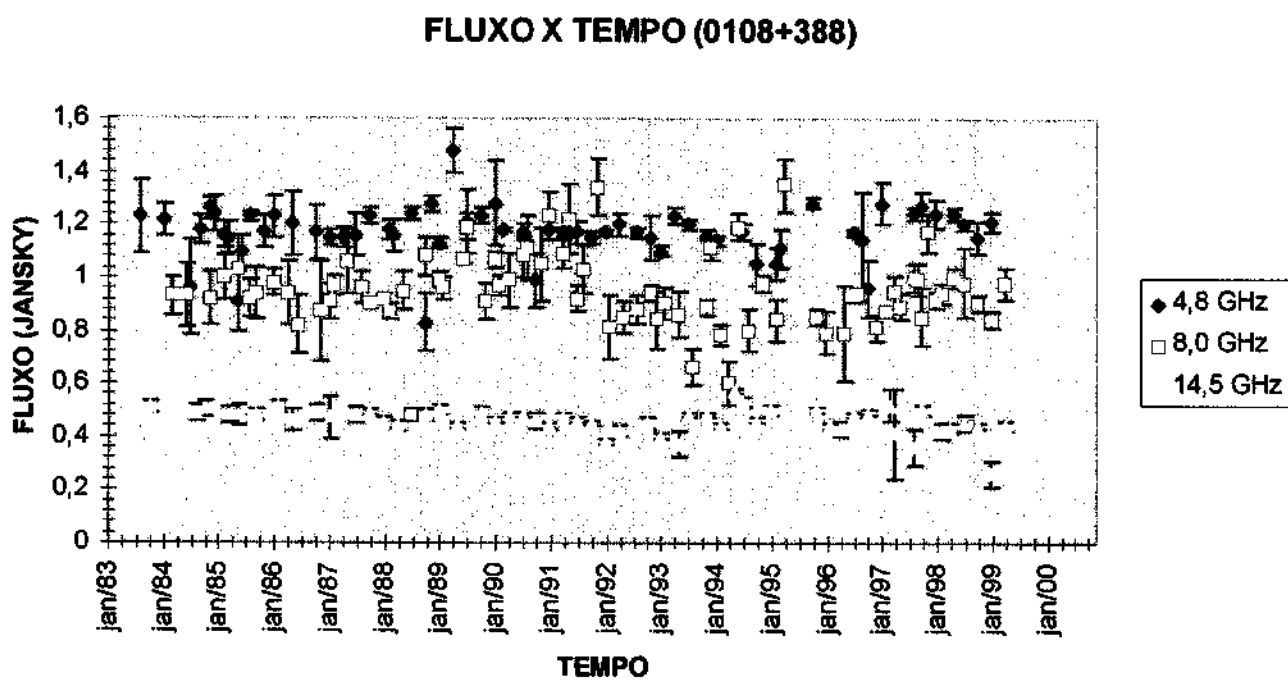


Figura 14: Densidade de Fluxo X Tempo 0108+388.

ESPECTRO 0108+388

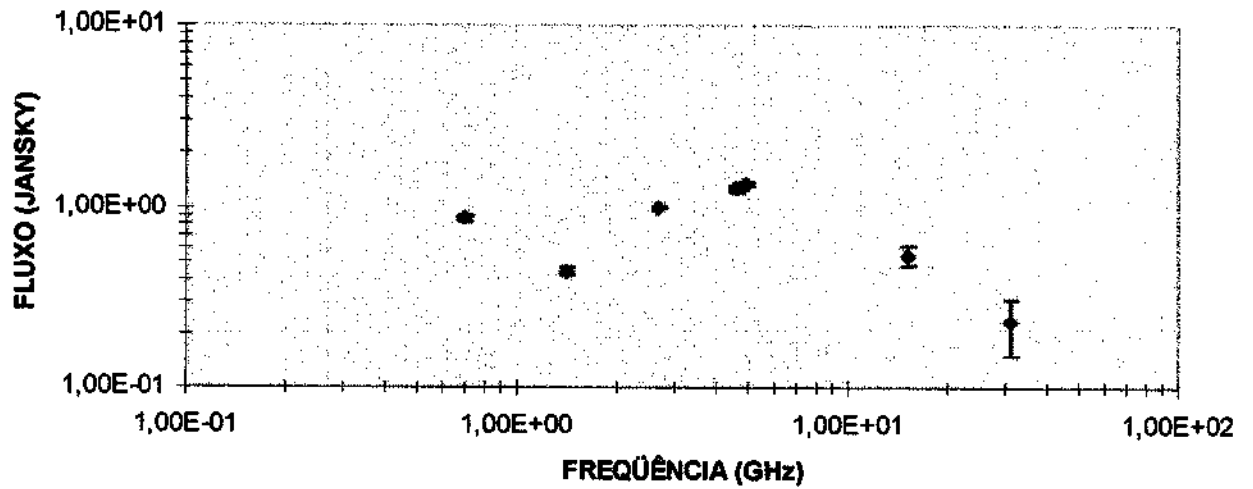


Figura 15: Espectro extraído de Kühr et al. (1980) mostrando o resultado de aproximadamente 20 anos de coleta de dados por diferentes rádio-telescópios.

A figura 15 mostra um gráfico elaborado tendo como base os dados extraídos do catálogo de Kühr et al. que nos dá uma um panorama geral de 20 anos de observações. Um gráfico análogo se encontra nesse mesmo artigo na seção que trata dos espectros das radiofontes estudadas.

ESPECTRO 0108+388

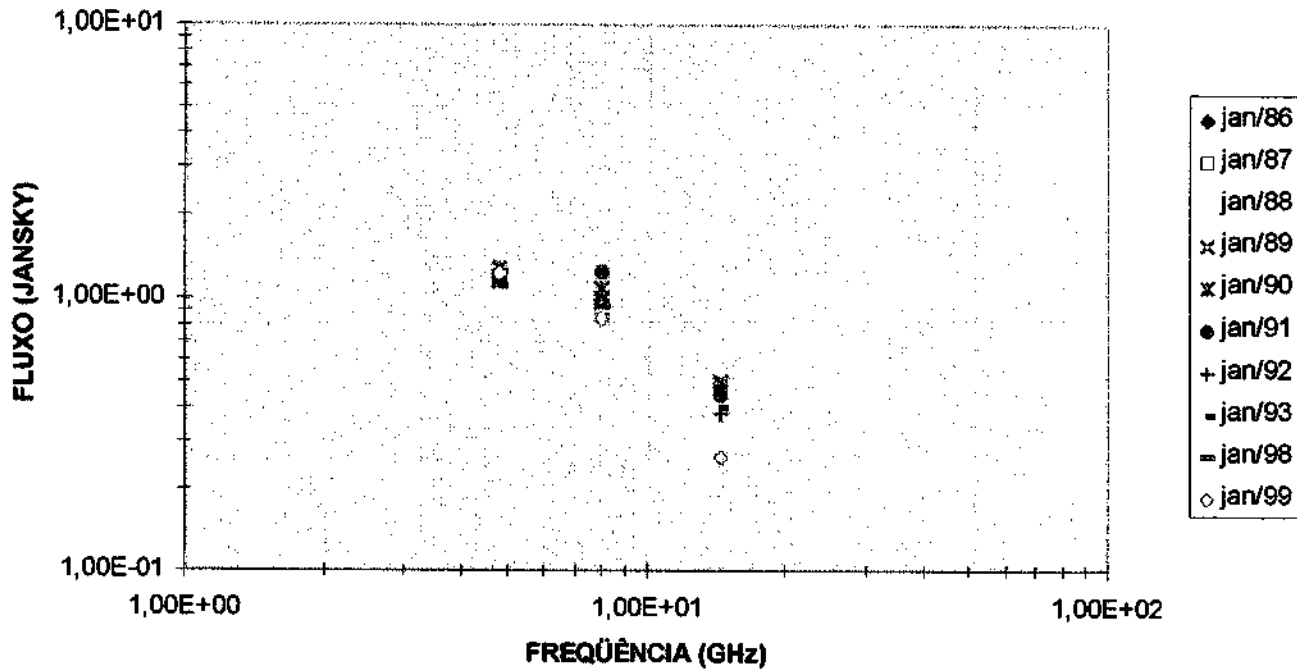


Figura 16: Espectro total da fonte 0108+388 (Michigan)

Como podemos notar observando a figura acima, torna-se um tanto quanto complicado percebermos e distingüirmos os períodos de crescimento e decréscimo na atividade desta fonte. Alguns valores parecem se sobrepor. Utilizaremos, então o mesmo método que utilizamos para a análise do espectro de uma fonte analisada anteriormente. Decompô-lo-emos em intervalos de tempo menores, onde constam 3 ou 4 anos por vez e tendo, sempre, uma determinada curva referente a um ano em comum a dois gráficos subseqüentes para comparação. Convém ressaltar que foram feitas aproximações para curvas polinomiais de grau 2.

ESPECTRO PARCIAL: 1986, 1987, 1988 E 1989

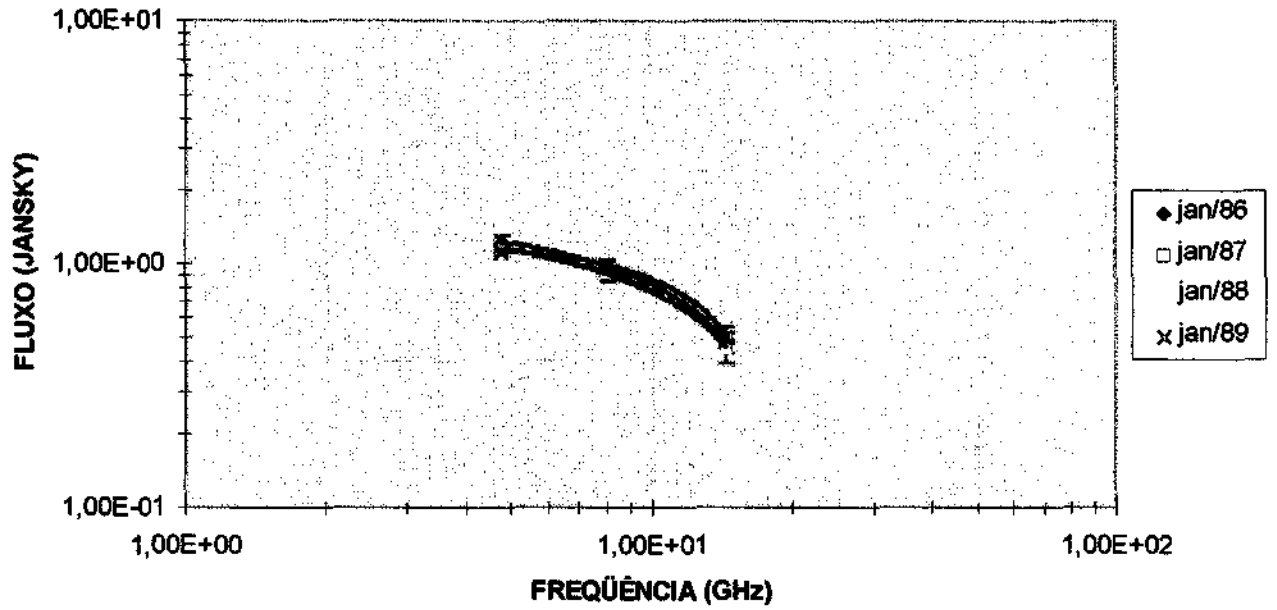


Figura 17:Gráfico parcial que mostra as curvas de espectro referentes aos anos de 1986, 1987, 1988 e 1989 (gráfico parcial).

De acordo com a figura 17, temos o período de máxima atividade no ano de 1986, com um decréscimo a partir daí.

ESPECTRO PARCIAL: 1989, 1990 E 1991

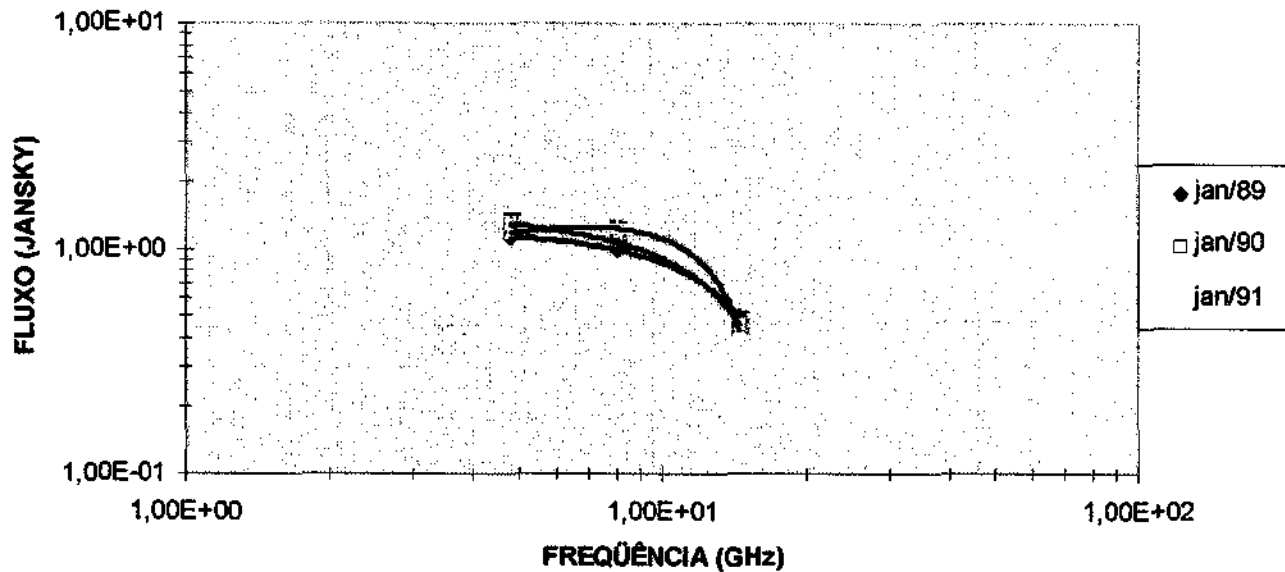


Figura 18: Continuação.

A figura 18 mostra que, após a queda na atividade apresentada na figura 17, há um novo crescimento. Este gráfico parcial tem como curva de mínima atividade a curva referente ao ano de 1989 e, como curva de máxima atividade, a curva de 1991.

ESPECTRO PARCIAL: 1991, 1992 E 1993.

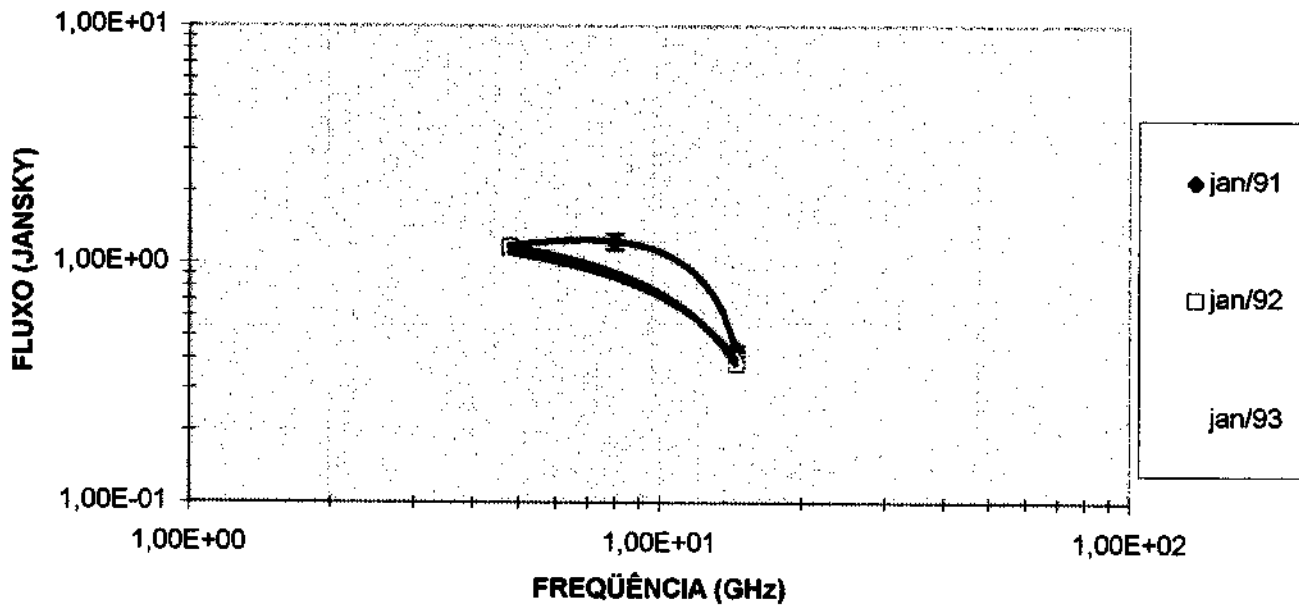


Figura 19: Continuação.

As curvas da figura 19 mostram um decréscimo na atividade a partir de 1991 (lembrar que 1991 era a curva de máxima atividade no gráfico parcial anterior, o da figura 18), atingindo a curva de 1993 que se apresenta como a curva de mínima atividade.

ESPECTRO PARCIAL: 1993, 1998 E 1999

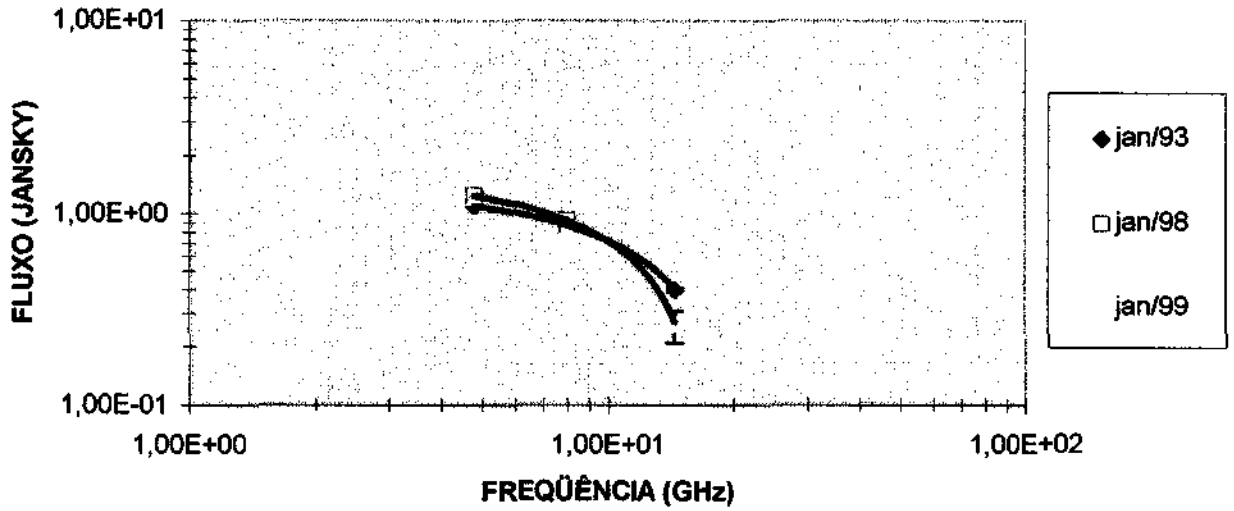


Figura 20: Continuação.

Lembrando que a curva de 1993 é a curva de mínima atividade da figura 19, quer dizer, do período de 1991 a 1993, vejamos onde ela se enquadra neste novo período. Há um crescimento de atividade de 1993 para 1998 e um decréscimo de 1998 a 1999.

0109+224

Esta fonte não apresenta correspondente estudo no catálogo de Kühr et al.

FLUXO X TEMPO (0109+224)

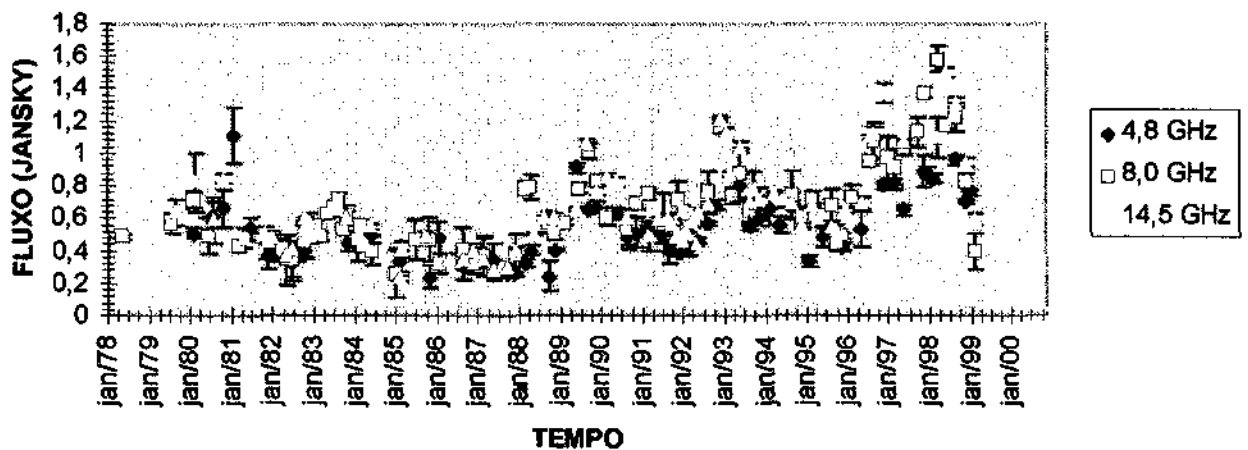


Figura 21: Densidade de Fluxo X Tempo 0109+224 (Michigan)

Comecemos por exibir o espectro desta fonte.

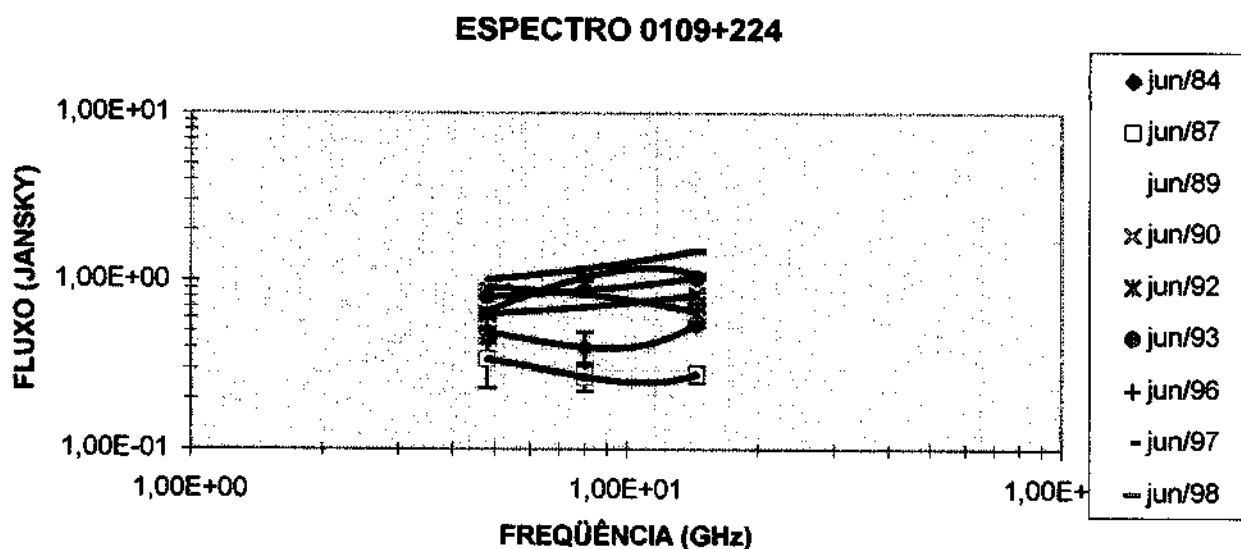


Figura 22: Espectro total 0109+224 (Michigan)

Como podemos ver logo acima, na figura 22 , a partir da curva característica do ano de 1984, registramos um decréscimo na atividade até o ano de 1987. A partir daí, há um crescimento na atividade até o ano de 1989, quando registramos um novo decréscimo que continua através do ano de 1990 e cessa, no nosso gráfico, no ano de 1992. A partir de então, há um novo crescimento no nível de atividade, atingindo o nível máximo do período estudado em 1998.