



PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS		AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY	
AUTORES AUTHORS	<p>GALÁXIAS PECULIARES RADIOGALÁXIAS</p>	<p><i>Rafael</i> Rafael G. G. G. G. Presidente Conselho de Pós-Graduação</p>	
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION	
<p><i>Duília F. M. Rabaça</i> Duília F. M. Rabaça</p>		<input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED	
		REVISADA POR / REVISED BY	
		<p><i>Zulema Abraham</i> Zulema Abraham</p>	
CDU/UDC		DATA / DATE	
523.855		Junho 1989	
		ORIGEM ORIGIN	
		PG/DRF	
		PROJETO PROJECT	
		FRH/CEA	
		Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
		64	A. 10
		VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES			
<p>Este trabalho consistiu na investigação de emissão no contínuo de rádio na frequência de 22 GHz de uma amostra de galáxias peculiares do hemisfério sul, uma vez que tais peculiaridades eram uma possível evidência de emissão de rádio. Uma amostra de 24 galáxias peculiares foi observada com a antena 13,7 m do Rádio Observatório do Itapetinga (ROI-INPE). A técnica utilizada foi a de varreduras ("scan") em ascensão reta, o limite de sensibilidade adotado foi igual a 3 r.m.s. Das 24 galáxias, 3 foram detectadas como emisoras de rádio pela primeira vez e 4, que já eram fontes conhecidas em outras frequências, tiveram seus fluxos medidos em 22 GHz. As densidades de fluxo encontradas estiveram na faixa de 0,5-4,5 Jy, indicando que o instrumento utilizado e a técnica de observação foram satisfatórias mesmo na observação de fontes consideradas fracas.</p>			
OBSERVAÇÕES / REMARKS			
<p>Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial aprovada em setembro de 1988.</p>			

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

Dr. Eugênio Scalise Júnior



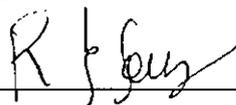
Presidente

Dr^a Zulema Abraham



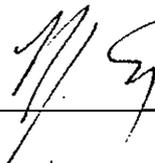
Orientadora

Dr. Ronaldo Eustáquio de Souza



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Hugo Vicente Capelato



Membro da Banca

Candidata: Duília Fernandes de Mello Rabaça

São José dos Campos, 06 de setembro de 1988

Ao Carlos,
meu bem,
meu Zen,
meu mal.

Tempo virá em que uma pesquisa diligente e contínua esclarecerá aspectos que permanecem escondidos. O espaço de tempo de uma vida, mesmo se inteiramente devotado ao estudo do céu, não seria suficiente para investigar um objetivo tão vasto ... este conhecimento será conseguido somente através de gerações sucessivas. Tempo virá em que os nossos descendentes ficarão admirados de que não soubéssemos particularidades tão óbvias a eles ... Muitas descobertas estão reservadas para os que virão, quando a lembrança de nós estará apagada. O nosso universo será assunto sem importância, a menos que haja alguma coisa nele a ser investigada a cada geração ... A natureza não revela seus mistérios de uma só vez.

Sêneca, Problemas Naturais

Livro 7, século I

Eu tenho ... uma terrível necessidade ... devo dizer a palavra? ... de religião. Então saio para a noite e pinto as estrelas.

Vincent van Gogh

ABSTRACT

This work consists in the investigation of the radio continuum emission at 22 GHz of a sample of southern peculiar galaxies, since the peculiarities are a possible evidence of radio emission. A sample of 24 peculiar galaxies was observed with the antenna of the Rádio Observatório de Itapetinga (ROI-INPE). The observational technique used was scan through the source in right ascension; the adopted sensibility limit was 3 r.m.s. Three galaxies were detected as radio sources for the first time and the fluxes of 4 well known radio sources in other frequencies were measured at 22 GHz. The obtained flux densities were in the range of 0.5-4.5 Jy, showing that the instrument and the observational technique were satisfactory for the observation of weak sources.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

à Dra. Zulema Abraham pela proposta e orientação deste trabalho;

à Dra. Helene Sol pelos dados fornecidos;

ao Carlos Roberto Rabaça pelo incentivo, pelas idéias sugeridas, pela força em todos os momentos e pelas noites em claro que passou me substituindo em algumas observações;

aos colegas do curso de mestrado do INPE que sempre foram amigos e que participaram da minha formação como mestre e como pessoa;

ao pessoal do Rádio Observatório de Itapetinga pela amizade e pelos galhos quebrados;

aos colegas do IAG que em tão pouco tempo se mostraram amigos de fato;

aos amigos do Observatório do Valongo e do Observatório Nacional pelo incentivo em seguir este caminho;

à família Rabaça, da qual faço parte há 6 anos, pelo carinho e apoio;

à CAPES e FAPESP pelo apoio financeiro;

e, finalmente, aos meus pais, irmãos e avós responsáveis pelo que sou.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xiv</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xvi</i>
LISTA DE SÍMBOLOS	<i>xix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Galáxias peculiares	1
1.1.1 - Galáxias interativas	4
1.1.1.1 - Características ópticas	4
1.1.1.2 - Características rádio	5
1.1.2 - Galáxias tipo M51	6
1.1.2.1 - Características ópticas	6
1.1.2.2 - Características rádio	6
1.1.3 - Galáxias com jatos	7
1.1.4 - Galáxias com absorção por poeira	8
1.1.5 - Galáxias anéis	9
1.1.5.1 - Características ópticas	9
1.1.5.2 - Características rádio	10
1.1.6 - Galáxias anãs	10
1.1.6.1 - Características ópticas	10
1.1.6.2 - Características rádio	11
1.1.7 - Galáxias compactas	12
1.1.7.1 - Características ópticas	12
1.1.7.2 - Características rádio	13
1.2 - A amostra	14
<u>CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTO OBSERVACIONAL</u>	23
2.1 - O radiotelescópio	23
2.2 - Procedimento observacional	24
2.2.1 - Calibração	24
2.2.2 - Absorção atmosférica	25
2.2.3 - A atenuação	26

	<u>Pág.</u>
2.2.4 - Técnicas de observação	27
2.2.5 - Observações de fontes conhecidas	29
2.2.6 - Redução de dados	30
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</u>	33
3.1 - Análise dos dados	33
3.2 - Conclusões	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE A - IMAGENS CCD	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Mapa de rádio em 1,4 GHz da galáxia 0349-27. A cruz indica a localização da galáxia óptica	18
1.2 - Mapa de rádio em 18 cm feito com VLA superposto à placa fotográfica da galáxia 0430+05 (3C120)	19
1.3 - Contorno isofotal do jato da galáxia 0521-36, a cruz indica a localização do núcleo	20
1.4 - Mapa de rádio em 1,4 GHz feito em VLA da galáxia 0521-36. A cruz indica a localização do núcleo óptico	21
2.1 - Resultado da redução de 1 (uma) hora de observação de Virgo A. O ponto central corresponde à posição da fonte cuja temperatura de antena medida e o r.m.s. são $(0,286 \pm 0,004)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	31
3.1 - Resultado da observação de 0113-52 feita em 20/10/86. A temperatura da antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,016 \pm 0,003)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	35
3.2 - Resultado da observação de 0214-26 feita em 02/11/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s são $(0,005 \pm 0,001)K$ e está deslocada 7 minutos do arco. A linha horizontal trata-se da linha de base	37
3.3 - Resultado da observação de 0229-58 feita em 11/03/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,009 \pm 0,002)K$ e está deslocada 6 minutos de arco. A temperatura de antena do ponto central é igual a 0,008K. A linha horizontal trata-se da linha de base	39
3.4 - Resultado da observação de 0349-27 feita em 22/06/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,013 \pm 0,003)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	40

3.5 - Espectro rádio da galáxia 0349-27	41
3.6 - Resultado da observação de 0404-52 feita em 02/08/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,008 \pm 0,002)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	42
3.7 - Resultado da observação de 0430+05 feita em 26/03/88. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,033 \pm 0,002)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	43
3.8 - Resultado da observação de 0521-36 feita em 30/08/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,006 \pm 0,002)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base	45
3.9 - Espectro rádio da galáxia 0521-36	46

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Tipos de galáxias peculiares e a frequência relativa	3
1.2 - Amostra de galáxias peculiares. *Significa que é fonte rádio conhecida	15
3.1 - Galáxias que foram detectadas como emissoras de rádio em 22 GHz	34
3.2 - Galáxias que não foram detectadas como emissoras de rádio em 22 GHz dentro do limite de sensibilidade adotado	34

LISTA DE SÍMBOLOS

C	- constante radiométrica, K/V
E	- elevação
P	- posição, minutos de arco
r.m.s.	- ruído médio quadrático
S	- densidade de fluxo, Jy
Ta	- temperatura de antena, K
Tamb	- temperatura ambiente, K
Tf	- temperatura da fonte, K
Tnt	- temperatura do noise tube, K
Tr	- temperatura do receptor, K
Tsis	- temperatura de sistema, K
V	- voltagem
Vli	- voltagem do lo interno, V
Vo	- voltagem constante
Vnt	- voltagem do noise tube, V
Vr	- velocidade radial heliocêntrica, Km/s
Z	- deslocamento para o vermelho "redshift"

Símbolos gregos

α	- índice espectral
δ	- declinação
Δ	- diferença entre a atenuação de calibração e observação, db
λ	- comprimento de onda
η	- coeficiente de transmissão da redoma
τ	- profundidade óptica

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Muitas galáxias que emitem em frequências de rádio possuem peculiaridades ópticas que as diferenciam da maioria, o que permite que se conclua que existe uma conexão entre o fato da galáxia ser peculiar e o fato dela ser emissora de rádio. Baseado nisto, o objetivo principal deste trabalho consistiu em investigar uma amostra de galáxias peculiares em frequência de rádio. Como a distinção entre uma galáxia peculiar e uma galáxia normal é um tanto arbitrária, torna-se necessário definir-se bem os tipos de peculiaridades existentes e se há ou não emissão de rádio.

Uma rádio galáxia típica possui uma estrutura dupla, que sugere que as duas regiões são remanescentes de um evento explosivo o qual ejetou-as da galáxia óptica em direções opostas. O diâmetro angular típico de uma rádio galáxia é da ordem de minutos de arco. Entretanto, para as fontes mais próximas, é possível obter mapas detalhados da distribuição rádio. Por exemplo, Centaurus A, que será vista em maiores detalhes posteriormente, possui duas componentes (lóbulos) separadas de 10^0 , além de regiões emissoras de rádio coincidentes com a galáxia óptica.

Nas próximas seções apresentamos alguns dos diversos tipos de galáxias peculiares existentes e a amostra que foi selecionada. No Capítulo 2 descrevemos o instrumento utilizado, suas características e a técnica de observação empregada, e no Capítulo 3 apresentamos os resultados e a análise realizada.

1.1 - GALÁXIAS PECULIARES

Os critérios de classificação morfológica existentes visam reunir as galáxias que possuem características em comum, dentro de uma certa faixa de variação. Contudo, algumas galáxias possuem certas peculiaridades que as diferenciam da maioria, daí serem

classificadas como GALÁXIAS PECULIARES. Os primeiros objetos classificados desta forma encontram-se no Atlas de Galáxias Peculiares realizado por Arp (1966), que contém 338 galáxias peculiares com $\delta > 27^\circ$. Mais recentemente, Arp e Madore (1977) apresentaram um levantamento preliminar das galáxias peculiares existentes no céu do hemisfério sul. Eles utilizaram o telescópio Schmidt de 1,2 metros do Reino Unido-Austrália, e placas fotográficas do tipo IIIa-J, que registram melhor as regiões de brilho superficial mais fraco e, conseqüentemente, detectam interações e peculiaridades nas regiões externas das galáxias, o que não era possível com outras placas menos sensíveis. Após uma análise rigorosa de 200 placas, o que equivale a aproximadamente 36000 galáxias, 2784 galáxias tiveram alguma peculiaridade detectada. Estas peculiaridades morfológicas foram divididas nas categorias apresentadas na Tabela 1.1. Na última coluna encontra-se a porcentagem de cada categoria, permitindo que se saiba a frequência relativa de um determinado tipo de peculiaridade.

A seguir descrevemos as principais características de algumas das categorias apresentadas na tabela.

TABELA 1.1TIPOS DE GALÁXIAS PECULIARES E A FREQUÊNCIA RELATIVA

PECULIARIDADE	FREQUÊNCIA (%)
1 Galáxia com companheira(s) interativa(s)	6,4
2 Duplete interativo	16,6
3 Tríplete interativo	3,0
4 Quarteto interativo	0,3
5 Quinteto interativo	0,1
6 Galáxia anel	3,6
7 Galáxia com jato	2,4
8 Galáxia com companheira(s) aparente(s)	3,0
9 Galáxia tipo M51	2,3
10 Galáxia espiral com braço(s) peculiar(s)	4,1
11 Galáxia espiral com 3 braços	0,7
12 Galáxia espiral peculiar	4,6
13 Galáxia compacta	7,9
14 Galáxia com absorção por poeira	1,5
15 Galáxia com caudas ou laços ("loops")	2,6
16 Galáxia simples irregular ou perturbada	4,5
17 Correntes de galáxias	5,6
18 Grupos de galáxias	3,5
19 Aglomerados de galáxias	2,0
20 Galáxia anã	6,1
21 Outros objetos	15,3

FONTE: Arp e Madore, 1977.

1.1.1 - GALÁXIAS INTERATIVAS

As galáxias interativas são sistemas cujas formas regulares foram perturbadas pela presença de uma outra galáxia, não havendo qualquer dúvida quanto a possíveis superposições de galáxias de fundo. Na classificação de Arp e Madore (1977), há uma distinção entre galáxias com companheira(s) interativa(s) e dupletes interativos. As primeiras mostram perturbações devido à proximidade de uma companheira menor, as últimas são objetos de tamanhos semelhantes muito próximos, onde pelo menos um mostra sinais de perturbação. As galáxias que não são perturbadas pela presença de uma vizinha são chamadas de galáxias com companheira aparente. O primeiro catálogo de galáxias interativas foi elaborado por Vorontsov-Velyaminov em 1959 e, desde então, estes sistemas vêm sendo amplamente estudados.

1.1.1.1 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

Os sistemas interativos não ocorrem muito frequentemente em aglomerados, sendo mais encontrados isoladamente. Eles possuem caudas e filamentos (pontes) que conectam as galáxias e que são formados principalmente por estrelas, e às vezes por gás luminoso, sendo da mesma natureza da galáxia (Vorontsov-Velyaminov, 1961). Segundo Vorontsov-Velyaminov, as caudas são mais frequentes que as pontes e quando os dois estão presentes a cauda é mais brilhante e provavelmente mais massiva. As galáxias interativas apresentam fortes linhas de emissão nas regiões de interação e grande quantidade de poeira no núcleo (D'Odorico, 1970).

Um dos principais assuntos envolvendo galáxias interativas refere-se à origem da interação. Burbidge et al. (1963) afirmaram que a interação é resultado de uma ejeção violenta de matéria. O que foi confirmado por Arp (1969) através de observações de uma amostra de 6 galáxias espirais conectadas à companheiras. Ele concluiu que as galáxias maiores haviam expelido suas companheiras. Entretanto, Wright (1972) e Clutton-Brock (1972) explicaram as pontes

e caudas como uma consequência apenas da interação gravitacional entre as galáxias. Atualmente, esta é a teoria mais aceita e vem sendo reforçada através de observações na faixa de comprimentos de onda de rádio.

1.1.1.2 - CARACTERÍSTICAS RÁDIO

Sabe-se que a emissão de rádio de uma galáxia frequentemente está concentrada na direção do núcleo galáctico. Este, por sua vez, é a parte da galáxia menos afetada durante uma interação gravitacional (Wright, 1972). Sendo assim, pode-se esperar que a interação não afete as propriedades rádio da galáxia. Alternativamente, se os sistemas de galáxias conectados por pontes e possuindo caudas surgissem de um processo de ejeção nuclear, pareceria estranho que as propriedades rádio permanecessem inalteradas. Baseados nestes fatos, alguns trabalhos sobre galáxias interativas na faixa rádio permitem conclusões definitivas a cerca da interação.

Wright (1974) selecionou uma amostra de 44 galáxias interativas e observou-a com o radiotelescópio de 64 metros de Parkes, nas frequências de 2,7 e 5,0 GHz. 26 sistemas interativos foram detectados como emissores de rádio e seus resultados foram comparados com uma amostra de galáxias não-interativas observada em 2,7 GHz. Ele concluiu que os sistemas interativos não apresentavam anomalias em suas propriedades rádio, evidenciando que a ejeção nuclear não era a origem da interação.

Purton e Wright (1972) encontraram um resultado semelhante e verificaram que os espectros rádio dos objetos estudados apresentavam características comuns quando comparados aos de galáxias normais. Além disso, a posição da rádio fonte coincidia em cada caso, com o núcleo da galáxia.

1.1.2 - GALÁXIAS TIPO M51

1.1.2.1 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

As galáxias chamadas de tipo M51 são objetos que possuem peculiaridades semelhantes às encontradas na galáxia de número 51 do Catálogo de Messier. Ou seja, são galáxias espirais que possuem uma companheira associada a um de seus braços. As companheiras podem ser do tipo irregular com baixo brilho superficial, compactas com alto brilho superficial ou apenas regiões de HII, sendo que, o primeiro tipo é encontrado mais frequentemente (Vorontsov-Velyaminov, 1976).

A frequência de galáxias M51 foi estudada por este último autor que verificou que 5,1% das galáxias classificadas como espirais por van den Bergh e 3,5% das espirais de de Vaucouleurs eram do tipo M51, ou 4,3% na média.

1.1.2.2 - CARACTERÍSTICAS RÁDIO

A galáxia M51 e sua companheira (NGC 5195) foram observadas e mapeadas, na frequência de 1415 MHz, por Mathewson et al. (1972) através do radiotelescópio de Síntese de Abertura de Westerbork.

O mapa rádio mostra vários braços rádio que coincidem com a borda interna dos braços ópticos e com as faixas de poeira. Deste resultado conclui-se que a maior parte da emissão do braço não é proveniente das remanescentes de supernovas que existem nos braços ópticos brilhantes. Os braços são responsáveis por mais da metade da emissão de rádio total da galáxia. O fato dos braços rádio coincidirem com a parte interna dos ópticos é uma evidência de que há regiões de compressão de gás por ondas de choque geradas pelo movimento da estrutura espiral através da galáxia, o campo magnético seria comprimido juntamente com o gás.

O mapa rádio mostra também a existência de uma forte ponte rádio conectando M51 e sua companheira.

1.1.3 - GALÁXIAS COM JATOS

Galáxias com jatos são galáxias que possuem feixes unilaterais altamente colimados estendendo-se a partir do seu núcleo. Porém, estes jatos muitas vezes são fracos e mascarados pela luminosidade da própria galáxia, daí serem confundidos com falsos jatos como: superposições de galáxias ou estrelas de fundo, pontes entre galáxias, anéis polares, e efeitos fotográficos (Keel, 1985). Este problema impõe a necessidade de alta resolução para identificar-se os jatos com precisão. Uma das técnicas que vem sendo utilizada é a de tratamento de imagem via câmera CCD. Sol (1987) realizou um trabalho de detecção e confirmação de jatos através da câmera CCD (tipo SID 53612) acoplada ao telescópio de 1,5 metros do ESO-la Silla, e concluiu que eram poucos os casos de galáxias classificadas como galáxias com jatos que realmente sugeriam ejeção de matéria do núcleo galáctico.

Muitas vezes o termo jato está associado às observações feitas na faixa rádio do espectro, principalmente utilizando-se a técnica de interferometria (VLA e VLBI), onde é mais comum identificar-se este tipo de peculiaridade. Segundo Bridle e Perley (1984), para se denominar uma estrutura de jato em rádio é necessário que tal estrutura satisfaça as seguintes condições: i) seja pelo menos 4 vezes mais longa que a sua largura; ii) seja separável de outras estruturas extensas (se houver alguma); iii) esteja alinhada com o núcleo compacto rádio mais próximo.

Sabe-se que o número de jatos ópticos é apenas uma pequena fração do número total de jatos identificados na faixa rádio. Existem, entretanto, alguns casos em que galáxias que apresentam jatos ópticos não apresentam jatos na faixa rádio, como por exemplo, NGC 1097.

1.1.4 - GALÁXIAS COM ABSORÇÃO POR POEIRA

A poeira em galáxias manifesta-se basicamente através do obscurecimento de regiões, convertendo fótons de λ no visível e no ultravioleta em fótons de λ no infravermelho, via absorção e reirradiação térmica. Estes efeitos podem ser vistos em M82, onde a região central é totalmente obscura opticamente e onde a maioria da luminosidade do núcleo é emitida no infravermelho. Outra galáxia que apresenta absorção por poeira é a NGC 5128, que é uma galáxia elíptica peculiar caracterizada por uma faixa de poeira na região equatorial. Ela está em rotação em torno do eixo perpendicular à faixa.

O núcleo da NGC 5128 foi detectado pela primeira vez por Kunkel e Bradt (1971), na região do visível espectral; Becklin et al. (1971), na região infravermelha; e Wade (1971) na região rádio. No visível e no infravermelho o núcleo tem uma aparência estelar. Em $\lambda = 9,7 \mu\text{m}$ é detectada uma banda de absorção por silicato, evidenciando a presença de poeira na linha de visada. Segundo Ryter (1979), existe uma nuvem de poeira localizada no interior do núcleo estelar e seu diâmetro é da ordem de $1''$, ou 24 pc.

A rádio fonte associada à galáxia NGC 5128 é chamada de Centaurus A, que é a rádio galáxia mais próxima (4 Mpc) e, historicamente, foi a primeira a ser identificada como rádio fonte. Devido à sua proximidade, estudos interessantes podem ser feitos, já que não é necessário alta resolução angular para observar estruturas em pequena escala.

Existem três regiões principais de emissão de rádio associada à Centaurus A. A primeira consiste de duas fontes, uma localizada ao norte e outra ao sul da galáxia, que são os chamados lóbulos externos e são atribuídos a uma explosão no núcleo que teria ocorrido a cerca de 25×10^6 anos atrás (Moffet, 1966). Estes lóbulos estendem-se sobre 8° em declinação, o que corresponde a 600 Kpc. A segunda região de emissão de rádio consiste de duas componentes localizadas nos lados opostos da galáxia óptica, são

chamados de lóbulos rádio internos, que devem ter sido produzidos por eventos mais recentes. A terceira região emissora localiza-se no centro da galáxia e contém uma fonte compacta não-térmica que coincide com a fonte infravermelha. Tal fonte é reconhecida como sendo o núcleo da galáxia. Além de emitir no infravermelho e em rádio, Centaurus A também emite nas faixas de Raios-X e Raios- γ do espectro.

1.1.5 - GALÁXIAS ANÉIS

1.1.5.1 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

As primeiras galáxias a serem classificadas como galáxias anéis eram semelhantes a anéis elípticos sem matéria visível nos seus interiores. As galáxias Arp 146 e 147 (Arp, 1966) são dois exemplos destes objetos.

Atualmente, existem definições mais modernas deste tipo de peculiaridade, como a apresentada por Theys e Spiegel (1976) que dividiram as galáxias anéis em três subclasses: RE, galáxias na forma de anéis sem um núcleo central; RN, galáxias anéis que possuem um objeto semelhante à uma galáxia no seu interior, mas fora do centro do anel; RK, galáxias com estruturas (nó) ou condensações no anel.

Algumas teorias, como a apresentada por Lynds e Toomre (1976), procuram explicar a origem deste tipo peculiar de galáxia. Segundo os autores, elas são o resultado de uma colisão entre duas galáxias, onde o núcleo de uma delas passa a poucos kiloparsec do núcleo da outra (provavelmente do tipo espiral), indo em uma direção perpendicular ao plano desta. O resultado é uma onda de densidade com a forma de anel expandindo-se no disco da galáxia.

Um mecanismo alternativo para a formação do anel explica a retirada da componente gasosa do disco de uma espiral devido à sua colisão com uma nuvem de hidrogênio intergaláctico (Freeman e de Vaucouleurs, 1974).

1.1.5.2 - CARACTERÍSTICAS RÁDIO

De acordo com Stocke (1978, 1978a) a interação ocorrida em galáxias anéis sugere uma grande probabilidade delas serem fortes rádio fontes. Esta conclusão é reforçada através da análise da teoria de Lynds e Toomre e Freeman e de Vaucouleurs, citadas anteriormente. Segundo Lynds e Toomre, após a onda de densidade existem regiões de HII associadas à formação de estrelas recentes. O modelo de Freeman e de Vaucouleurs também envolve regiões de HII; tais regiões seriam emissoras de rádio.

Baseado neste fato, Ghigo (1980) observou uma amostra de 31 galáxias anéis, a fim de investigar se tais objetos eram emissores de rádio. Para isto, ele utilizou o interferômetro de 3 elementos do NRAO, nas frequências de 2,7 e 8,0 GHz. As galáxias de forma simples, como Arp 146 e 147, não foram detectadas como rádio fontes. Já as 6 galáxias que foram detectadas indicam uma tendência das galáxias mais irregulares serem emissoras de rádio.

1.1.6 - GALÁXIAS ANÃS

1.1.6.1 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

O termo galáxia anã é usado para se referir às galáxias de pequeno tamanho, pouca luminosidade absoluta e baixo brilho superficial. Esta definição exclui os outros tipos de galáxias pequenas, como as compactas (Seção 1.1.7) e as espirais que são pequenas em tamanho mas normais em outros aspectos.

As galáxias anãs podem ser classificadas tanto como elípticas quanto como irregulares, uma vez que suas características são bastante distintas.

As anãs elípticas possuem brilho superficial extremamente baixo e brilho total também baixo, tornando-as muito difíceis de serem detectadas. A maioria das anãs elípticas observáveis pertencem ao Grupo Local, onde há 15 destes objetos (Hodge, 1971).

As anãs irregulares são razoavelmente comuns no espaço. O primeiro catálogo de galáxias anãs foi feito por van den Bergh (1959), que observou 222 galáxias anãs irregulares. Em geral, estes objetos são semelhantes em forma e em conteúdo às irregulares maiores, como as Nuvens de Magalhães, daí serem chamadas também de anãs tipo Magalhães ("Magellanic"). Elas possuem Hidrogênio neutro e ionizado (HI e HII) o que indica grande quantidade de gás.

1.1.6.2 - CARACTERÍSTICAS RÁDIO

A presença de quantidades significativas de HI em galáxias anãs sugere que estes objetos sejam facilmente detectáveis através de radiotelescópios. Assim, Fisher e Tully (1975) utilizaram os radiotelescópios de 91 e 43 metros do NRAO para observar uma amostra de anãs na linha de 21 cm (HI). Da amostra que continha 243 galáxias classificadas como anãs por van den Bergh (1959), 179 foram detectadas em 21 cm.

Thuan e Seitzer (1979) reuniram 461 galáxias classificadas como anãs por Nilson (1973), que são galáxias menores e mais fracas que as catalogadas por van den Bergh. A amostra foi observada em 21 cm com o radiotelescópio de 91 metros do NRAO, e das 461 anãs apenas 145 foram detectadas.

A porcentagem de galáxias detectadas por estes últimos autores é bem menor do que a obtida pelos primeiros. Isto pode ser explicado se levarmos em conta que as anãs Nilson são menores, mais fracas e mais distantes que as anãs van den Bergh, necessitando, muitas vezes, de um limite de detecção maior que o disponível.

1.1.7 - GALÁXIAS COMPACTAS

1.1.7.1 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

O termo galáxia compacta foi criado por Zwicky (1964) para denominar as galáxias com alto brilho superficial que erroneamente poderiam ser confundidas com estrelas. Ele classificou-as conforme seus tamanhos angulares: compactas médias possuíam tamanho angular entre 4" e 10", visíveis nas placas obtidas com o telescópio de 0,5 metro do Monte Palomar; compactas possuíam tamanho angular entre 2" e 4", visíveis nas placas obtidas com o telescópio de 1,2 metros; e extremamente compactas possuíam tamanho angular menor que 1", visíveis nas placas obtidas com o telescópio de 5 metros.

Como podemos ver, esta classificação dependia das condições instrumentais e, por isto, foi substituída pelo próprio Zwicky (1966) que define como compactas as galáxias que possuem brilho superficial maior que 20 magnitudes/arcsec.

Atualmente, a utilização do termo galáxia compacta varia conforme o autor. Por exemplo, Gordon e Gottesman (1981) classificaram como compacta toda galáxia cuja placa fotográfica mostrava uma região saturada envolvida por nenhuma, ou muito pouca, nebulosidade. Além disto, tal objeto não devia possuir estruturas normais, como braços espirais, mas sim estruturas irregulares, como jatos, filamentos e pontes.

As compactas podem ser divididas em vermelhas e azuis. As vermelhas, maioria, são aparentemente galáxias E e S0 cujo brilho superficial central é levemente maior que o das galáxias normais. As azuis são galáxias normais que estão temporariamente mascaradas por recentes explosões estelares (Gordon e Gottesman, 1981). Dentro da classe das compactas azuis existe uma subdivisão que leva em conta o tamanho do objeto: as compactas azuis anãs, que

provavelmente são do tipo irregular, uma vez que muitas das galáxias irregulares são anãs, e com intensa formação estelar e as compactas maiores que devem ser espirais com explosões estelares.

As compactas azuis são ricas em hidrogênio neutro (HI) e algumas chegam a possuir discos de HI cuja dimensão é maior que a estrutura visível.

1.1.7.2. - CARACTERÍSTICAS RÁDIO

Existem poucos estudos destes objetos na faixa rádio do espectro, devido ao fato das observações mais antigas não serem suficientemente sensíveis para detectá-los, acima do limite superior. As primeiras medidas mais sensíveis foram feitas por Klein (1982), que observou algumas galáxias compactas azuis anãs e cujos resultados indicam que seus índices espectrais rádio, na média, são muito mais altos que os estabelecidos para galáxias espirais normais.

As primeiras densidades de fluxo obtidas para compactas azuis anãs foram interpretadas em termos da radiação livre-livre do gás opticamente fino (Jaffe et al., 1978; Balkowski et al., 1978). Um trabalho mais recente realizado por Klein (1984) com o radiotelescópio de 100 metros do Instituto Max-Planck, em alta frequência (4,75 GHz), sugere que a fração de emissão térmica livre-livre é certamente maior em galáxias compactas azuis anãs do que em espirais normais, além de haver também emissão não-térmica. O índice espectral médio obtido foi $\alpha = -0,33 \pm 0,05$ que pode ser explicado através da combinação de emissão não-térmica, proveniente de remanescentes de supernovas jovens, com uma considerável fração de emissão térmica livre-livre do gás opticamente fino. Para confirmar isto, contudo, devem ser feitas observações em frequências mais baixas a fim de discernir claramente as duas componentes.

1.2 - A AMOSTRA

Selecionamos uma amostra de galáxias peculiares, que vem sendo observada por Helene Sol (pesquisadora do Observatório de Paris-Meudon) no "European Southern Observatory" (ESO) em La Silla, Chile, a fim de investigar se tais objetos eram emissores de rádio.

Nossa amostra, apresentada na Tabela 1.2, contém 20 galáxias classificadas como peculiares pelo "ESO/Uppsala Survey of the ESO/(B) Atlas" (Lauberts, 1982), ou pelo "Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations" (Arp e Madore, 1987), e que não constam em catálogos de rádio fontes, e 4 galáxias peculiares que já são rádio fontes conhecidas (estão com * na Tabela 1.2). A justificativa de observarmos galáxias que já são rádio fontes conhecidas, quando nossa proposta é detectar novas rádio fontes, é dada pela necessidade de conhecermos o resultado de uma detecção rádio de galáxias peculiares utilizando-se o Radiotelescópio de Itapetinga.

A seguir apresentaremos um resumo das principais características e peculiaridades ópticas de todos os objetos da amostra, e as características rádio das quatro galáxias que são fontes de rádio conhecidas.

TABELA 1.2

AMOSTRA DE GALÁXIAS PECULIARES.

NOME	AR (1950)			DEC (1950)			PECULIARIDADES
	h	m	s	ρ	'	"	
0113-52	01	13	06	-52	55	00	Jato
0145-48	01	45	06	-48	39	00	Extensão
0147-27	01	47	13	-27	56	54	Cauda
0149-48	01	49	30	-48	51	00	Jato
0207-49	02	06	59	-49	31	18	Jato
0214-26	02	14	03	-26	10	54	Filamentos
0229-58*	02	29	41	-58	08	18	S0
0256-36	02	56	56	-36	48	48	Jato
0339-54	03	39	56	-54	09	57	Filamentos
0349-27*	03	49	32	-27	53	32	Jato
0404-52	04	04	52	-52	47	48	Anã azul
0422-51	04	22	30	-51	42	48	Jato
0426-55	04	26	44	-55	09	40	Jato
0430+05*	04	30	30	+05	15	00	Jato
0521-36*	05	21	13	-36	30	16	Jato
0606-29	06	06	37	-29	32	00	Jato
0646-64	06	46	37	-64	54	12	Interativa
2030-66	20	30	18	-66	26	00	Jato
2110-61	21	09	55	-61	29	48	Jato
2155-69	21	55	06	-69	43	30	Jato
2207-67	22	07	00	-67	06	54	Jato
2300+16	23	00	30	+16	20	00	Mkr
2329-41	23	29	24	-41	00	00	Jato
2331-38	23	30	49	-39	52	54	Jato

* Significa que é fonte rádio conhecida.

Das 24 galáxias peculiares, 7 já foram observadas por Helene Sol que utilizou o telescópio dinamarquês de 1,5 m do ESO e a câmera CCD (tipo SID 53612) de 300 x 520 pixels (1 pixel equivale a 0,41 segundos de arco), cujas imagens encontram-se no Apêndice A. Estas imagens permitem que se observe com maiores detalhes as peculiaridades de cada objeto, possibilitando uma classificação morfológica mais real e menos subjetiva.

As quatro galáxias que são fontes de rádio conhecidas possuem dados obtidos com a antena de 64 m do Rádio Observatório de Parkes na Austrália.

- a) 0113-52, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade.
- b) 0145-48, segundo Sol (1987), apresenta uma extensão como peculiaridade, o que pode ser visto na Figura A.1.
- c) 0147-27, segundo Lauberts (1982), apresenta uma cauda como peculiaridade e faz parte de um aglomerado, sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 12965$ Km/s, (Figura A.2).
- d) 0149-48, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade.
- e) 0207-49, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade.
- f) 0214-26, segundo Lauberts (1982), apresenta filamentos provenientes do núcleo quase-estelar.
- g) 0229-58, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia S0 que faz parte de um aglomerado (Figura A.3), sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 9590$ Km/s. Segundo Wright et al. (1977) é uma galáxia elíptica de magnitude 15,5. Eles observaram-na em Parkes na frequência de 2,7 GHz e obtiveram uma densidade de fluxo = 0,18 Jy.

- h) 0256-36, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral que apresenta como peculiaridade um jato estendendo-se na direção de um objeto muito pequeno, sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 6124 \text{ Km/s}$.
- i) 0339-54 pertence à região do Horologium (Chincarini et al., 1984). Segundo Lauberts (1982), apresenta como peculiaridade dois filamentos perpendiculares, sua magnitude é $M = 16,13$ (Figura A.4).
- j) 0349-27, segundo Bolton et al. (1965) é uma galáxia elíptica que apresenta como peculiaridade um jato de, aproximadamente, 50 Kpc de extensão; sua magnitude é 16,8. Wills (1975) observou-a em Parkes em diversas frequências e obteve as seguintes densidades de fluxo: $S(635 \text{ MHz}) = 11,03 \text{ Jy}$, $S(960 \text{ MHz}) = 8,14 \text{ Jy}$, $S(1,4 \text{ GHz}) = 6,0 \text{ Jy}$, $S(2,7 \text{ GHz}) = 3,52 \text{ Jy}$ e $S(5,0 \text{ GHz}) = 2,33 \text{ Jy}$.

Christiansen et al. (1977) mapearam a galáxia em 1,4 GHz (Figura 1.1) e verificaram a existência de uma assimetria da estrutura rádio em relação à galáxia e o fato do jato óptico apontar para a direção de maior emissão de rádio.

- k) 0404-52 pertence à região do Horologium (Chincarini et al., 1984). Segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral do tipo Sa binuclear que faz parte de um aglomerado, sua magnitude é $M = 14,13$, sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 900 \text{ Km/s}$. Segundo Sol (1987), ela é uma galáxia anã azul (Figura A.5). O espectro da sua região nuclear mostra a presença de linhas de emissão fortes e finas o que é característico de regiões de HII (Chincarini et al., 1984).

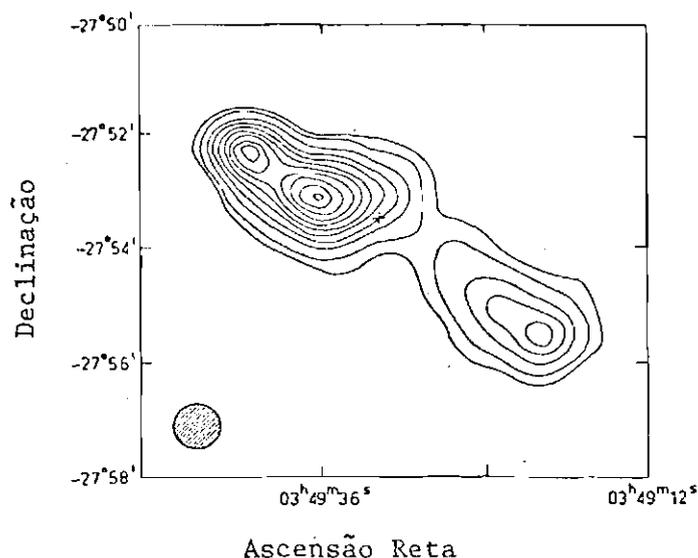


Fig. 1.1 - Mapa de rádio em 1,4 GHz da galáxia 0349-27. A cruz indica a localização da galáxia óptica.

FONTE: Christiansen et al., 1977.

- i) 0422-51, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral do tipo Sa-b, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade e, segundo Sol (1987), apresenta um jato como peculiaridade e, segundo Sol (1987), é uma galáxia Sa com jato, (Figura A.6).
- m) 0426-55, pertence à região do Horologium (Chincarini et al., 1984). Segundo Lauberts (1982), é uma galáxia irregular que apresenta como peculiaridade um filamento com condensação na parte oeste, sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 1740$ Km/s. E, segundo Sol (1987), ela é uma galáxia interativa com um jato que possui uma larga condensação. de HII gigante, com o He I claramente visível (Chincarini et al., 1984).

n) 0430+05, também conhecida como 3C120, possui um jato óptico à noroeste e um contra-jato à sudeste (Arp,1987). Ela possui uma estrutura semelhante a um longo braço com uma curvatura mais ou menos definida saindo da parte nordeste, contornando o lado leste e estendendo-se para o sul da galáxia. Das imagens obtidas por Arp (1987), verifica-se que esta estrutura em forma de braço é, na verdade, composta por numerosos filamentos brilhantes existentes na borda da imagem óptica. Estes filamentos parecem apontar para o centro da galáxia e muitos apresentam-se ligeiramente curvos.

Os mapas de rádio feitos em VLBI e em VLA tornam claro que 3C 120 apresenta ejeção de matéria, tendo sido detectados movimentos superluminais entre 1972 e 1974 (Seielstad et al., 1979). A Figura 1.2 mostra os lóbulos rádio estendendo-se em duas direções opostas em relação à fonte central. A fotografia óptica superposta mostra um jato e um contra-jato na mesma direção da ejeção rádio, mas um pouco desalinhados.

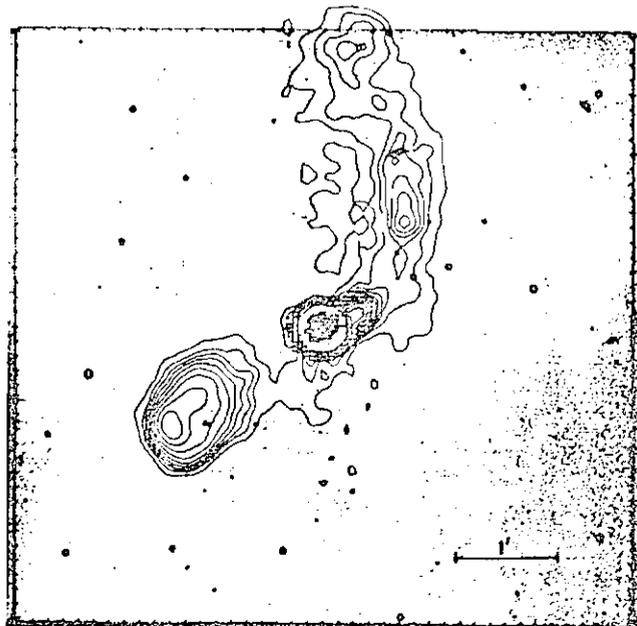


Fig. 1.2 - Mapa de rádio em 18 cm feito com VLA superposto à placa fotográfica da galáxia 0430+05 (3C120).

FONTE: Arp, 1987.

Wills (1975) observou-a em Parkes e obteve densidades de fluxo (S) em diversas frequências: S(468 MHz) = 4,82 Jy, S(635 MHz) = 4,27 Jy, S(960 MHz) = 4,25 Jy, S(1,4 GHz) = 4,32 Jy, S(2,7 GHz) = 6,68 Jy e S(5 GHz) = 9,85 Jy. Esta fonte apresenta forte variabilidade em comprimentos de onda centimétricos (Seielstad et al., 1979).

o) 0521-36, segundo Cayatte e Sol (1986) é uma galáxia elíptica com jato.

Wright et al. (1977) observaram-na em Parkes e obtiveram densidades de fluxo (S) em diversas frequências: S(468 MHz) = 33,56 Jy, S(635 MHz) = 29,05 Jy, S(960 MHz) = 22,13 Jy, S(1,4 GHz) = 17,5 Jy, S(2,7 GHz) = 11,71 Jy e S(5,0 GHz) = 8,49 Jy.

Analisando a isofota obtida por Cayatte e Sol (1986) (Figura 1.3) e o mapa de Danziger et al. (1985) (Figura 1.4) verificamos que o contorno isofotal do jato contém similaridades com o mapa rádio. Isto implica que as emissões de rádio e óptica provêm da mesma população de partículas relativísticas.

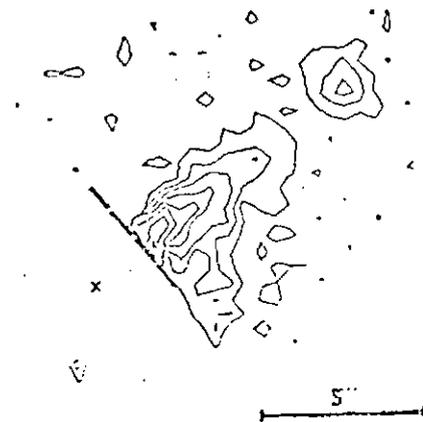


Fig. 1.3 - Contorno isofotal do jato da galáxia 0521-36, a cruz indica a localização do núcleo.

FONTE: Cayatte e Sol, 1987.

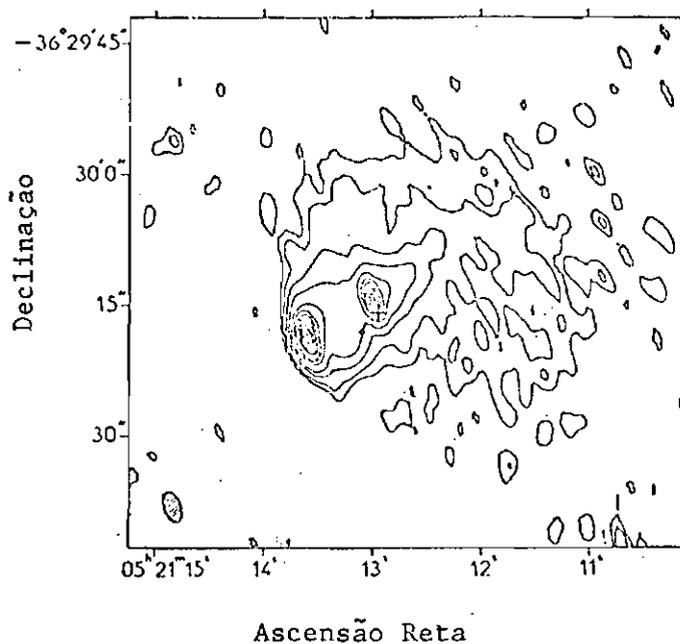


Fig. 1.4 - Mapa de rádio em 1,4 GHz feito em VLA da galáxia 0521-36. A cruz indica a localização do núcleo óptico.

FONTE: Danziger et al., 1985.

- p) 0606-29, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral que possui como peculiaridade um jato proveniente de um núcleo quase-estelar, (Figura A.8).
- q) 0646-64, segundo Lauberts (1982), faz parte de um sistema duplo em contato, sua velocidade radial heliocêntrica é $V_r = 9056$ Km/s, (Figura A.9).
- r) 2030-66, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade.
- s) 2110-61, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade e, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral do tipo Sc:

- t) 2155-69, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade e, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral do tipo SB(r?) o que faz parte de um aglomerado.
- u) 2207-67, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade
- v) 2300+16 é uma galáxia do tipo Markarian.
- x) 2329-41, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade.
- z) 2331-38, segundo Arp e Madore (1987), apresenta um jato como peculiaridade e, segundo Lauberts (1982), é uma galáxia espiral com um filamento, que faz parte de um aglomerado.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMENTO OBSERVACIONAL

2.1 - O RADIOTELESCÓPIO

O Radiotelescópio do Itapetainga está situado a 800 m de altitude no município de Atibaia, São Paulo. Sua posição geográfica (latitude = $-23^{\circ}11'05''$, $08 \pm 0''$, 07 e longitude = $46^{\circ}33'28''$, $42 \pm 0''$, 09) restringe em declinação a faixa do céu possível de ser observada: $-90^{\circ} < \delta < 30^{\circ}$.

Uma redoma transparente às ondas eletromagnéticas de 22 m de diâmetro protege a antena do meio ambiente. A redoma é composta de 620 painéis plásticos triangulares distribuídos aleatoriamente, cujo fator de transmissão é da ordem de 77%, na frequência de 22 GHz.

A antena tem como refletor principal um parabolóide com 13,7 m de diâmetro e como refletor secundário um hiperbolóide de 1,10 m. A distância focal do refletor principal é 5,08 m, mas devido à geometria óptica ser do tipo Cassegrain, tal distância equivale a 4 vezes o diâmetro, ou seja, 54,4 m (Kaufmann et al., 1971).

Na frequência de 22 GHz, a antena apresenta um feixe de aproximadamente 4 minutos de arco, à meia potência (HPBW).

O refletor parabólico principal está fixado em montagem alto-azimutal. Esta montagem possui servomecanismos comandados por um computador HP2114B que converte as coordenadas de ascensão reta e declinação em coordenadas de elevação e azimute, para o rastreamento da fonte a ser observada.

O receptor radiométrico utilizado é do tipo superheterodino e mede potência total ("total power"). Ele é composto basicamente por um mixer que mistura o sinal recebido ao sinal de um

oscilador local produzindo um sinal de frequência intermediária, um amplificador, um atenuador, um detector de potência de lei quadrática, um filtro passa-baixo, de banda passante de 1 GHz e constante de integração =0,05 s, e um voltímetro de 0,001 V de sensibilidade.

A voltagem, V , medida nos terminais do receptor após uma observação é proporcional à temperatura de sistema. T_{sis} , que equivale a:

$$V \propto T_{sis} = T_a + T_c + T_r \quad (2.1)$$

onde T_a é a temperatura de antena da fonte; T_c é a chamada temperatura do céu e equivale à soma das temperaturas da atmosfera, da redoma e do solo; e T_r é a temperatura do receptor. A temperatura de sistema média obtida foi da ordem de 650 K. Como a temperatura de antena de fontes fracas é menor que 1 K, a temperatura de sistema é basicamente a soma da contribuição do céu e do receptor.

2.2 - PROCEDIMENTO OBSERVACIONAL

2.2.1 - CALIBRAÇÃO

O resultado obtido após uma observação nos terminais do receptor, que por sua vez equivale a uma temperatura de antena, T_a , tal que:

$$T_a = C(V + V_0) \quad (2.2)$$

onde C depende do ganho do sistema e V_0 é uma voltagem constante. C e V_0 são determinados durante a calibração realizada antes de cada observação e que envolve duas etapas: a calibração com o "noise tube" (NT) e a com o "load interno" (LI). O NT é um tubo de ruído à temperatura constante ($T_{nt} = 110$ K) e o LI equivale a um corpo negro à temperatura ambiente (T_{amb}). A calibração com o NT consiste em apontar a antena para uma região próxima à posição do objeto a ser observado e medir V do céu, V do NT (V_{nT}) e V do céu; a

calibração com o LI obedece ao mesmo procedimento substituindo apenas o NT pelo LI e medindo V_{li} . Após a calibração obtém-se a constante radiométrica (C, em K/V).

C e V_0 são determinados a partir das seguintes relações:

$$C = \frac{T_{nt}}{V(nt + \text{c\u00e9u}) - V(\text{c\u00e9u})} \quad \text{e} \quad V_0 = \frac{T_{amb} - V_{li}}{C} \quad (2.3)$$

Entretanto, a temperatura de antena medida não corresponde exatamente à temperatura da fonte, uma vez que existe absorção atmosférica e que a antena está localizada no interior de uma redoma de coeficiente de transmissão igual a η .

2.2.2 - Absorção Atmosférica

O processo para determinar a absorção atmosférica implicaria em um consumo de tempo muito grande já que seria necessário medir-se a temperatura do céu em função da elevação (E). Além disto, a opacidade atmosférica varia tanto com a mudança de umidade e temperatura quanto com a presença de nuvens. A relação entre a temperatura de antena medida, T_a , e a temperatura real da fonte fora da atmosfera T_f , é dada por:

$$T_a = \eta T_f \exp(-\tau/\text{sen } E) \quad (2.4)$$

onde η é o coeficiente de transmissão da redoma, $\tau/\text{sen } E$ é a espessura óptica da atmosfera a uma elevação E.

O método descrito por Abraham et al. (1986) soluciona a necessidade de se medir a absorção atmosférica, utilizando-se o "load interno" e o "noise tube", mencionados anteriormente.

Das Equações (2.2) e (2.4), temos:

$$T_a = T_f \exp(-\tau/\text{sen } E) = C(V(f + \text{c\u00e9u}) - V(\text{c\u00e9u})) \quad (2.5)$$

onde $V(f + \text{c\u00e9u})$ \u00e9 a contribui\u00e7\u00e3o de uma fonte pontual e do c\u00e9u na sua vizinhan\u00e7a.

Da Equa\u00e7\u00e3o (5), resulta:

$$T_f = C(V(f + \text{c\u00e9u}) - V(\text{c\u00e9u}))/K(E) \quad (2.6)$$

onde $K(E) = \exp(-\tau/\text{sen } E)/\eta$.

Abraham et al. (1986) definiram a seguinte rela\u00e7\u00e3o $\alpha = \eta T(\text{c\u00e9u})$ \u00e9 a temperatura cin\u00e9tica m\u00e9dia do c\u00e9u e chegaram ao seguinte resultado:

$$K(E) = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \frac{1}{(\alpha - 1) + C/B(E)}; \quad B(E) = \frac{T_{amb}}{(V_{li} + V) - (V(\text{c\u00e9u}) + V_0)} \quad (2.7)$$

onde C e $B(E)$ s\u00e3o determinados a partir do NT e do LI .

Assim, a temperatura da fonte \u00e9 dada pelas equa\u00e7\u00f5es (2.6) e (2.7) tornando desnecess\u00e1ria a medida direta da absor\u00e7\u00e3o atmosf\u00e9rica, bastando apenas medir V_{nt} e V_{li} , durante a calibra\u00e7\u00e3o.

2.2.3 - A ATENUA\u00c7\u00c3O

O receptor radiom\u00e9trico utilizado, cont\u00eam um atenuador que tem a finalidade de regular o sinal amplificado de forma que ele esteja na faixa de linearidade do detector de pot\u00eancia e na faixa din\u00e2mica do volt\u00edmetro. A escolha da atenua\u00e7\u00e3o a ser utilizada \u00e9 muito importante e deve ser feita cuidadosamente a fim de n\u00e3o mascarar o sinal recebido, principalmente ao se observar fontes fracas cujas voltagens medidas s\u00e3o muito baixas, mas que est\u00e3o dentro da sensibilidade de 0,001 V do volt\u00edmetro.

Como durante a calibração observa-se fontes ("noise tube" e "load interno") de temperatura de antena muito mais elevadas que a maioria das fontes astronômicas, a atenuação utilizada na calibração é maior do que a necessária para uma observação. Por isto, calibra-se com um certo valor de atenuação e observa-se com outro, para não haver perda de informação. Mas isto, implica que a constante radiométrica (K/V) obtida na calibração não é válida para a observação. Então, o que se faz é dividir as temperaturas do NT e do LI por um fator que corrige este problema. Este fator (x) leva em conta a diferença entre a atenuação de calibração e de observação (Δa) em db, tal que: $\Delta a = 10 \log x$.

Como observamos fontes muito fracas, procuramos utilizar a menor atenuação permitida, dentro da faixa de linearidade do detector e da faixa dinâmica do voltímetro.

2.2.4 - TÉCNICAS DE OBSERVAÇÃO

São três os modos possíveis de operação da antena de 13,7 m do Rádio Observatório de Itapetinga: ON-OFF, ON-ON e "Scan". Nos dois primeiros modos utiliza-se duas cornetas que estão localizadas nos dois lados do eixo focal da antena, e no último apenas uma delas.

- 1) No modo ON-ON, no primeiro intervalo de tempo, enquanto a corneta principal está apontada para a fonte recebendo radiação equivalente a "fonte+céu", a corneta de referência está apontada para uma região próxima à fonte recebendo somente o "céu". Um detector síncrono ligado a uma chave comuta as duas cornetas, fazendo a diferença dos sinais recebidos nas duas cornetas. No intervalo de tempo seguinte a corneta principal recebe apenas "céu" e a de referência "fonte+céu"; é feita então a diferença entre os sinais recebidos nos dois intervalos de tempo. O resultado é proporcional ao dobro da temperatura de antena da fonte. Porém, como pode existir uma pequena diferença entre a

voltagem do céu medida pela mesma corneta em posições diferentes, e a contribuição da radiação térmica da atmosfera pode não ser totalmente eliminada. A diferença do modo ON-OFF em relação ao modo ON-ON, é que no segundo intervalo de tempo as duas cornetas recebem apenas o "céu".

- ii) Existem três tipos de Scan: Scan em coordenadas equatoriais (ascensão reta e declinação), Scan em coordenadas horizontais (azimute e elevação) e Scan 3 pontos. Nos dois primeiros casos a antena acompanha o astro em uma das coordenadas e faz varreduras na outra, por exemplo: se optarmos por Scan em coordenadas horizontais e selecionarmos azimute, a antena acompanhará o astro em elevação e fará varreduras em azimute, passando pela fonte no centro da varredura. No Scan 3 pontos é feita uma varredura passando por 3 pontos com coordenadas conhecidas.

Durante uma varredura são feitas 43 leituras da voltagem recebida. O intervalo de tempo pode ser 20, 30 ou 60s, enquanto que a amplitude e o número de varreduras podem ser escolhidos pelo observador, de acordo com seus propósitos. E o resultado de uma observação será a média aritmética da radiação recebida em cada varredura em cada um dos pontos da região varrida. Este resultado é obtido através do programa de aquisição de dados para a calculadora HP9810, que fornece o gráfico da Temperatura de antena, (T_a), versus a posição, (P , em minutos de arco) de cada ponto da região varrida.

Em nosso trabalho, optamos pela técnica de Scan, por ela ser boa para fontes fracas, especialmente quando as posições não estão bem determinadas e, principalmente pelo fato de se obter como resultado um gráfico $T_a \times P$, de onde é possível identificar, através da análise do gráfico, se algum ponto da região observada possui evidências ou não de emissão de rádio.

Nós utilizamos em nossas observações, varreduras em ascensão reta com amplitude de 60 minutos de arco, duração de 20 segundos, sendo que em cada observação são feitas 30 varreduras. Durante os 20 segundos a antena varre em ascensão reta, enquanto acompanha o objeto em declinação, recebendo radiação de 43 pontos, espaçados entre si de 1 minuto de arco; o restante do tempo é utilizado pela antena para se estabilizar, depois de mudar o sentido da varredura.

Uma observação completa consiste em fazer 12 observações de 30 varreduras. É importante lembrar que antes de cada uma das observações é feita a calibração (Seção 2.2.1). As 12 observações são, então, reduzidas, conforme será descrito na Seção 2.2.6.

2.2.5 - OBSERVAÇÕES DE FONTES CONHECIDAS

Durante um programa de observações é necessário observar uma fonte de densidade de fluxo bem determinada. A razão disto, é verificar se o equipamento está funcionando em perfeita ordem e encontrar uma relação entre a temperatura de antena medida, T_a , e a densidade de fluxo, S , que será utilizada para converter as T_a dos objetos observados em S .

A rádio fonte Virgo A é uma das radiofontes cuja densidade de fluxo está bem determinada em várias frequências. As suas coordenadas são: AR(1950) = 12h 28m 17,6s e DEC(1950) = $12^{\circ}40'12''{,}7$ e a densidade de fluxo, em 22 GHz, é 21,5 Jy (Baars et al., 1970).

Nós observamos Virgo A, diariamente, e encontramos um fator de conversão médio, S/T_a , igual a 75 Jy/K; as temperaturas de antena das fontes devem ser multiplicadas por este fator para serem transformadas em densidades de fluxo.

2.2.6 - REDUÇÃO DE DADOS

Conforme mencionado na Seção 2.2.3, uma observação completa de uma fonte consiste, na verdade, de 12 observações que passam conjuntamente por um processo de redução. O resultado final é obtido utilizando-se o programa de redução de dados (Tateyama, 1982) para a calculadora HP9830, que calcula a média ponderada das temperaturas de antena para os 43 pontos observados e o erro r.m.s. (ruído) associado, e fornece um gráfico da temperatura de antena média, T_a , versus a posição, P , de cada ponto em minutos de arco.

O programa de redução de dados considera que os 9 pontos centrais contêm o sinal, enquanto que para o cálculo do ruído, são tomados os 14 pontos de cada extremo, para garantir que o sinal não esteja fazendo parte do cálculo. A flutuação em torno da linha de base desses 28 pontos é o r.m.s. associado à observação.

Na Figura 2.1 apresentamos o resultado da redução de 1 (uma) hora de observação de Virgo A, onde o ponto central corresponde à posição da fonte.

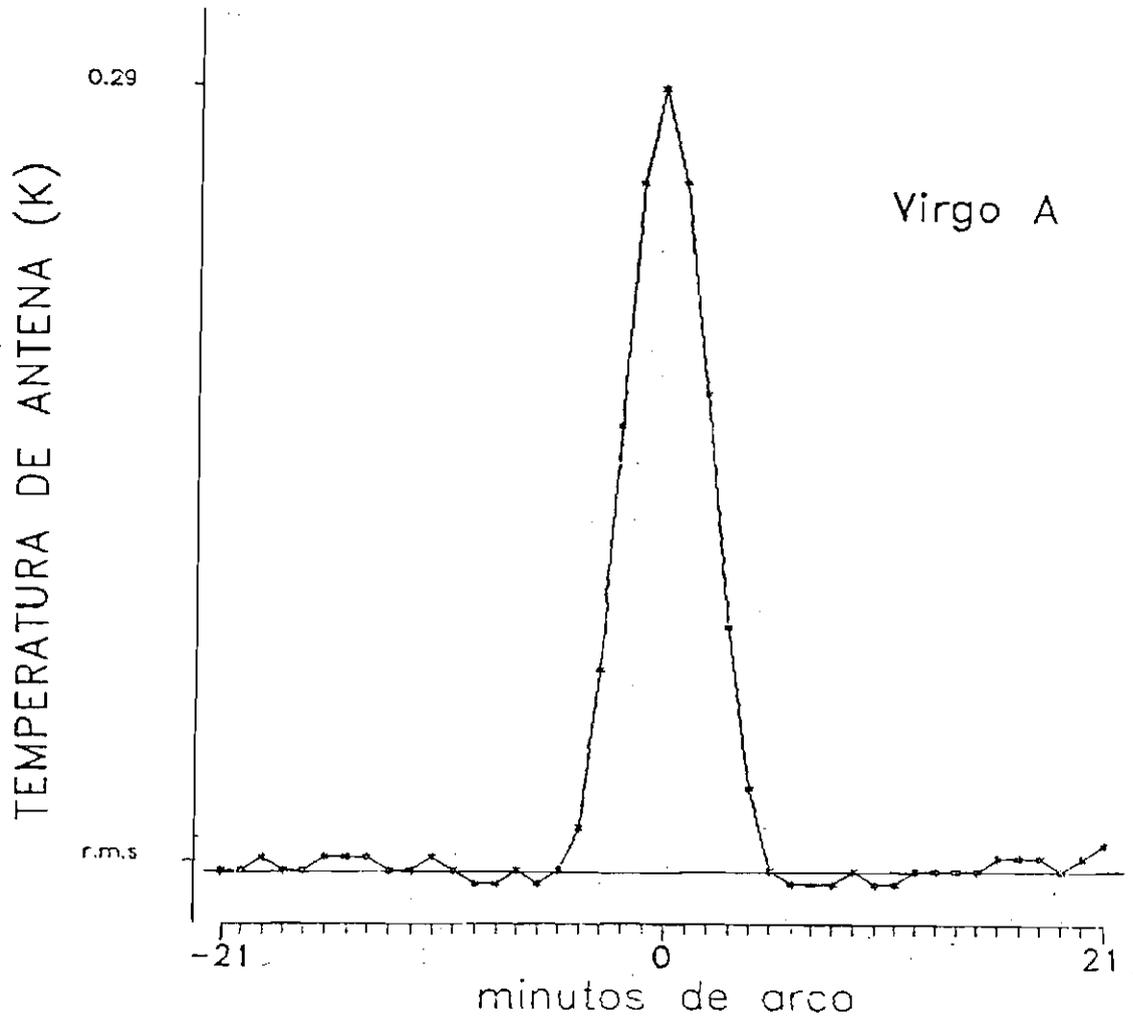


Fig. 2.1 - Resultado da redução de 1 (uma) hora de observação de Virgo A. O ponto central corresponde à posição da fonte cuja temperatura de antena medida e o r.m.s. são $(0,286 \pm 0,004)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Neste Capítulo apresentamos a análise dos dados que foram obtidos durante o período de 10/1986 a 03/1988 no Rádio Observatório de Itapetinga.

3.1 - ANÁLISE DOS DADOS

Conforme mencionado no capítulo anterior, uma observação completa compreende um total de 12 observações que são analisadas conjuntamente.

Para analisar os dados definimos o limite de sensibilidade igual a 3 vezes o r.m.s., ou seja, todo sinal 3 vezes acima do r.m.s. foi considerado como detecção.

Das 24 galáxias da amostra, 7 foram detectadas como emissoras de rádio e 17 não foram detectadas, dentro do limite de sensibilidade adotado. Na Tabela 3.1 apresentamos as galáxias detectadas, as temperaturas de antena, o r.m.s. e a densidade de fluxo calculada. Na Tabela 3.2 apresentamos as galáxias que não foram detectadas.

Trataremos a seguir das galáxias detectadas como emissoras de rádio em 22 GHz.

TABELA 3.1GALÁXIAS QUE FORAM DETECTADAS COMO EMISSORAS DE RÁDIO EM 22 GHz

NOME	TEMPERATURA(K)	FLUXO (Jy)
0113-52	0,016 ± 0,003	1,2 ± 0,2
0214-26	0,005 ± 0,001	0,4 ± 0,1
0229-58	0,008 ± 0,002	0,6 ± 0,2
0349-27	0,013 ± 0,003	1,0 ± 0,2
0404-52	0,008 ± 0,002	0,6 ± 0,1
0430+05	0,033 ± 0,002	2,5 ± 0,2
0521-36	0,060 ± 0,002	4,5 ± 0,2

TABELA 3.2GALÁXIAS QUE NÃO FORAM DETECTADAS COMO EMISSORAS DE RÁDIO
EM 22 GHz DENTRO DO LIMITE DE SENSIBILIDADE ADOTADO

NOME	NOME
0145-48	0646-64
0147-27	2030-66
0149-48	2110-66
0207-49	2155-69
0256-36	2207-67
0339-54	2300+16
0422-51	2329-41
0426-55	2331-38
0606-29	

a) 0113-52 foi observada em 20/10/86 durante 2 horas, com o céu limpo. a redução dos dados fornece a temperatura de antena máxima = 0,016 K e um r.m.s. = 0,003 K. Na Figura 3.1 nota-se que a temperatura de antena máxima está localizada muito próxima do ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia, indicando que a galáxia foi detectada como emissora de rádio em 22 GHz. O formato da parte central da figura pode ser explicado pela superposição do sinal ao ruído.

Esta galáxia, que possui um jato como peculiaridade, não era conhecida como emissora de rádio até então. A densidade de fluxo, calculada a partir da temperatura de antena, conforme descrito na Seção 2.2.5 é igual a 1,2 Jy, na frequência de 22 GHz.

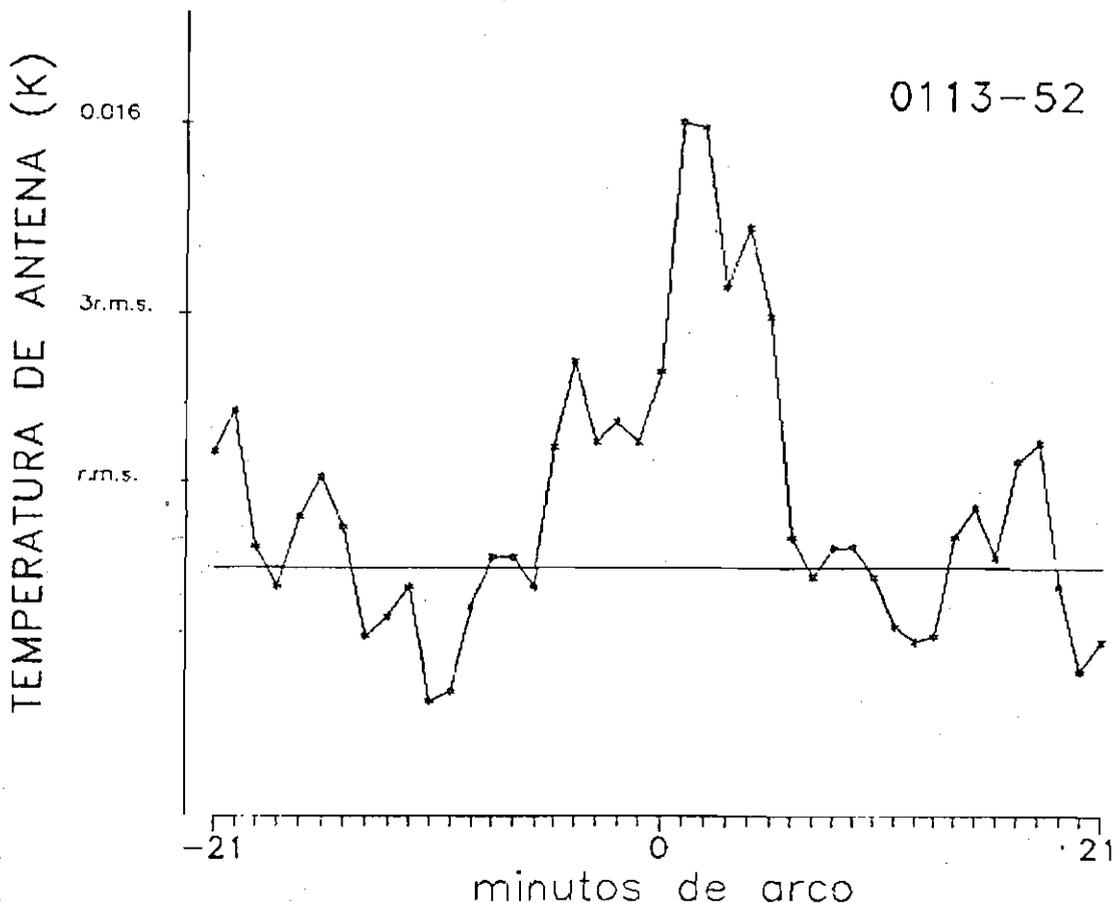


Fig. 3.1 - Resultado da observação de 0113-52 feita em 20/10/86. A temperatura da antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,016 \pm 0,003)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base.

b) 0214-26 foi observada em 21/10/86 durante duas horas, com o céu limpo. Mas como o ponto de temperatura de antena máxima estava muito deslocado da posição óptica (ponto central), resolvemos reobservá-la para confirmar este resultado. A redução dos novos dados obtidos em 02/11/87 fornece a temperatura de antena máxima = 0,005 K e um r.m.s. = 0,001 K. Na Figura 3.2 nota-se que o ponto de temperatura de antena máxima está realmente deslocado 7 minutos de arco do ponto central, como havíamos obtido anteriormente. Para calcularmos a que distância real este deslocamento corresponderia teríamos que conhecer o "redshift" da galáxia, ou a sua distância. Como não possuímos estes dados podemos fazer um cálculo aproximado utilizando um valor típico de "redshift" para galáxias, $Z = 0,02$. Assumindo-se este valor, encontramos que 7 minutos de arco correspondem a 200 Kpc. Como não há nenhuma fonte de rádio conhecida que esteja próxima a esta galáxia, e como sabemos que ela apresenta alguns filamentos como peculiaridade, ou seja, ejeção de matéria do núcleo galáctico, podemos explicar este deslocamento entre a posição da galáxia óptica e da fonte de rádio, sugerindo que a emissão de rádio detectada esteja associada à uma região lateral afastada de 200 Kpc da galáxia. Este valor está dentro do que se espera para distância entre fontes de rádio e óptica, para Cygnus A., por exemplo, a distância entre as fontes é 100 Kpc e para Centaurus A a fonte de rádio se estende sobre 600 Kpc.

A densidade de fluxo correspondente à temperatura de antena medida é igual a 0,4 Jy, na frequência de 22 GHz. Esta galáxia não havia sido detectada como emissora de rádio até então.

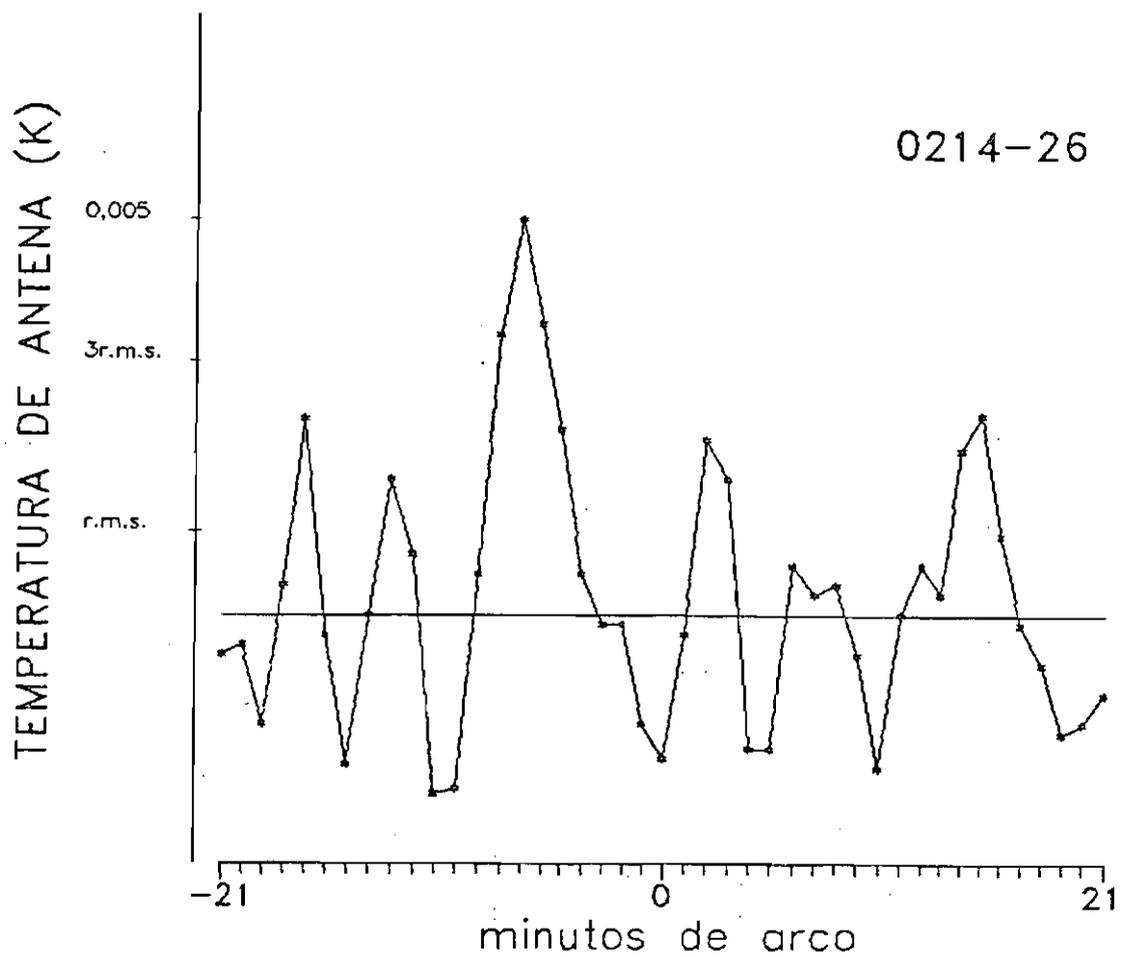


Fig. 3.2 - Resultado da observação de 0214-26 feita em 02/11/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s são $(0,005 \pm 0,001)K$ e está deslocada 7 minutos de arco. A linha horizontal trata-se da linha de base.

c) 0229-58 foi observada em 11/03/87 durante 2 horas, com o céu parcialmente limpo. Na Figura 3.3 nota-se um ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia, de temperatura de antena igual a 0,008 K e um ponto de temperatura de antena = 0,009 K afastado 6 minutos de arco do centro. Como conhecemos a velocidade radial da galáxia, $V_r = 9590$ Km/s (Lauberts, 1982), encontramos que a distância entre as duas fontes é igual a 335 Kpc. Como este valor está dentro do que se espera para distâncias entre fontes óptica e rádio, podemos afirmar que existem duas fontes de rádio, uma localizada na posição óptica da galáxia e outra afastada de 335 Kpc.

A densidade de fluxo correspondente à temperatura de antena da fonte central é igual a 0,6 Jy, na frequência de 22 GHz. Esta galáxia faz parte de um aglomerado e foi classificada por Lauberts (1982) como S0 e por Wright et al. (1977) como E. Ela já havia sido observada por Wright et al. (1977) com a antena de 64 m de Parkes, na frequência de 2,7 GHz e apresentou um fluxo de 0,10 Jy. Como podemos notar, o fluxo em 22 GHz foi maior que o fluxo em 2,7 GHz, o que não deveria ter ocorrido se a fonte fosse opticamente fina, como era de se esperar. Porém devemos lembrar que as duas observações foram feitas em épocas diferentes e pode ser que a galáxia apresente variabilidade, isto é, o fluxo teria aumentado desde a época em que foi observada em 2,7 GHz. Isto poderia ser confirmado se houvesse dados recentes em baixas frequências, o que infelizmente não há.

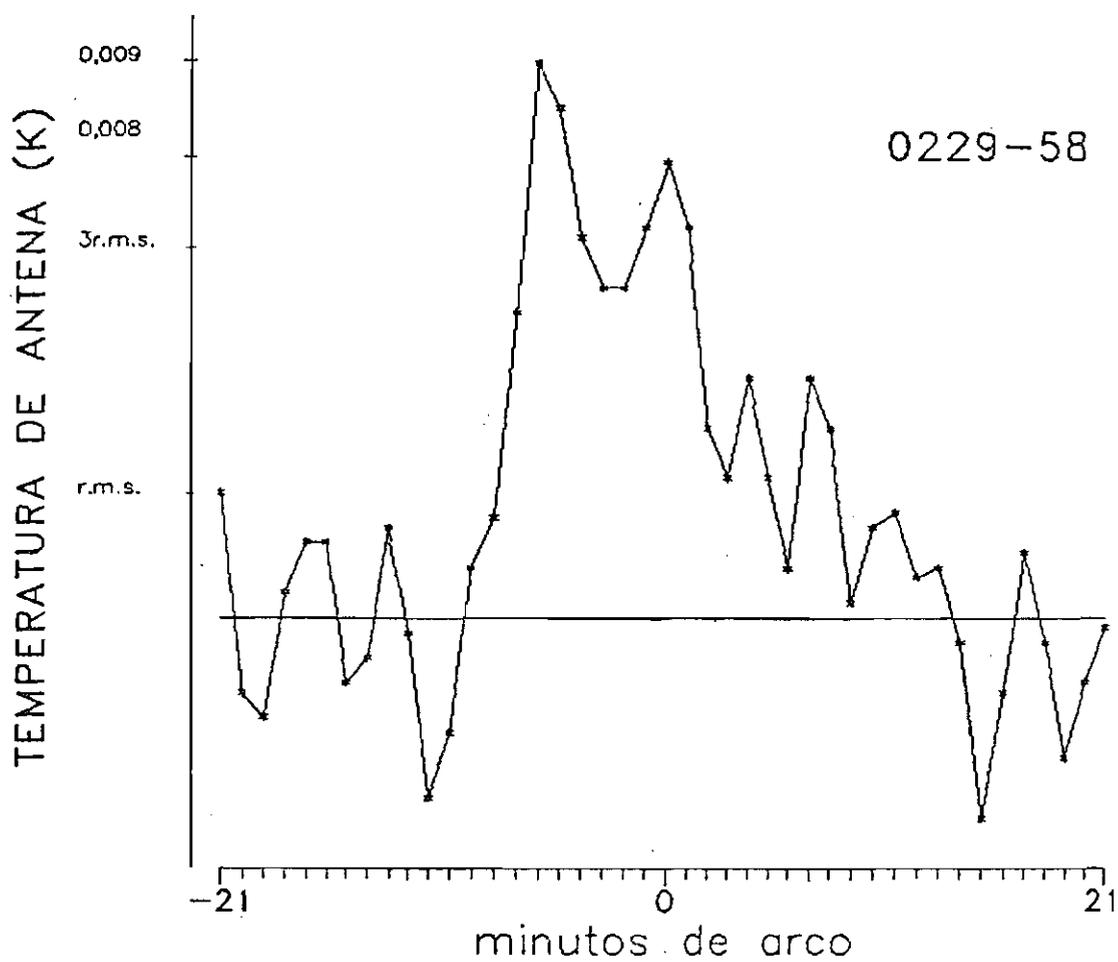


Fig. 3.3 - Resultado da observação de 0229-58 feita em 11/03/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,009 \pm 0,002)K$ e está deslocada 6 minutos de arco. A temperatura de antena do ponto central é igual a 0,008 K. A linha horizontal trata-se da linha de base.

d) 0349-27 foi observada em 22/06/87 durante 2 horas e 30 minutos, como o céu limpo, porém com unidade relativa do ar alta (superior a 80%). A redução dos dados fornece temperatura de antena máxima = 0,013 K e um r.m.s. = 0,003 K. Na Figura 3.4 nota-se que o ponto de temperatura máxima praticamente coincide com o ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia. A densidade de fluxo correspondente à temperatura de antena medida é igual a 1,0 Jy, na frequência de 22 GHz. Esta galáxia que é uma elíptica com um jato óptico proeminente, já havia sido observada por Wills (1975) com a antena de 64 m de Parkes, em diversas frequências. Acrescentando o fluxo medido em 22 GHz, encontramos o espectro rádio da galáxia (Figura 3.5), de onde verificamos que o espectro é típico de emissão não-térmica.

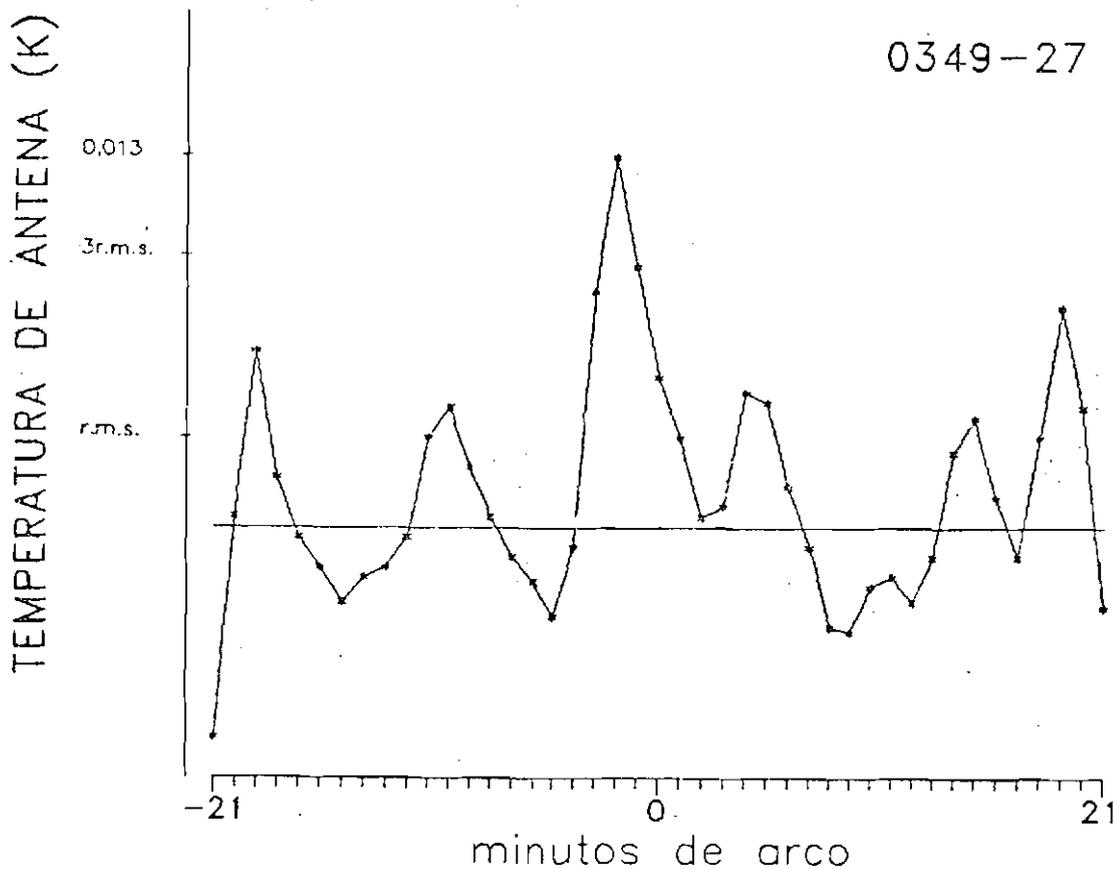


Fig. 3.4 - Resultado da observação de 0349-27 feita em 22/06/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,013 \pm 0,003)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base.

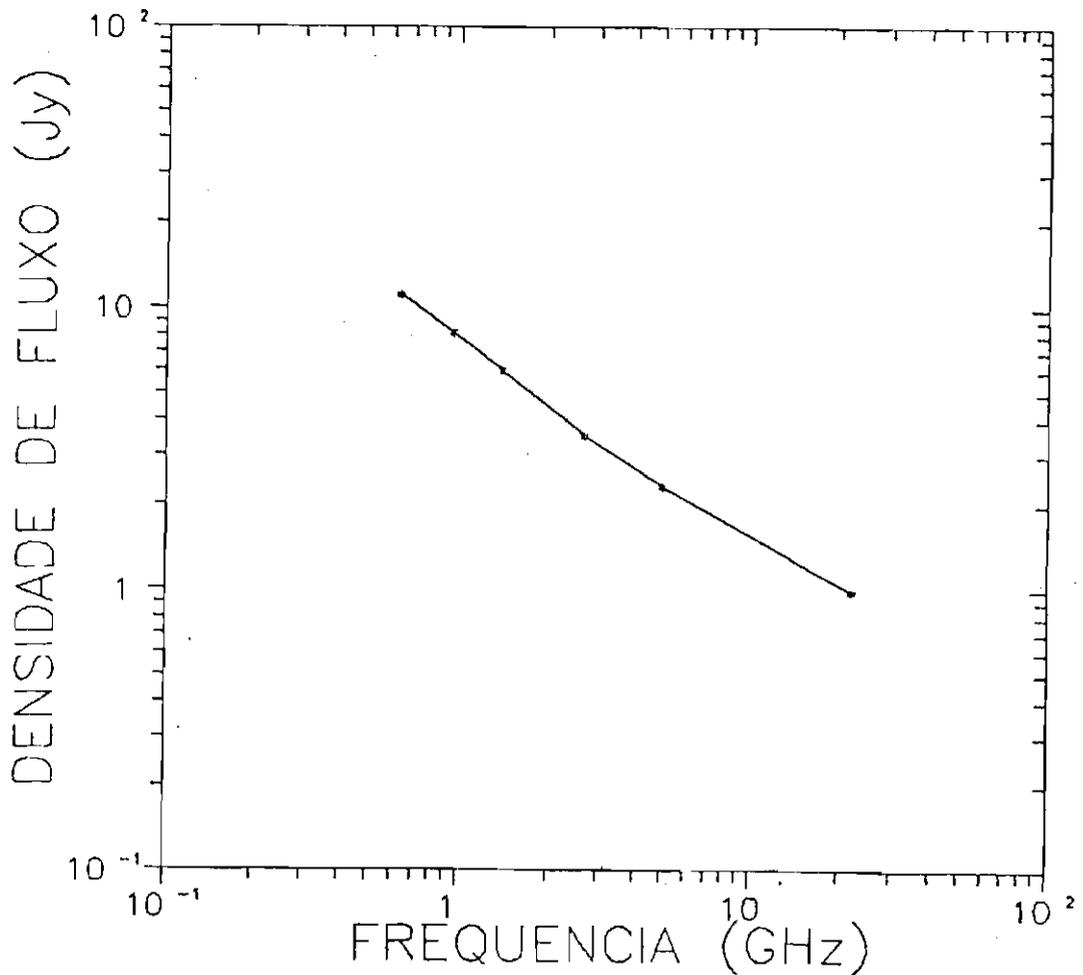


Fig. 3.5 - Espectro rádio da galáxia 0349-27.

e) 0404-52 foi observada em 02/08/87 durante duas horas, com o céu limpo. A redução dos dados fornece temperatura de antena máxima exatamente no limite de detecção ($3 \times \text{r.m.s.}$), por isto ela foi reobservada em 27/10/87. Como os dois resultados foram obtidos praticamente sob as mesmas condições e são muito semelhantes, reduzimos as duas observações conjuntamente, aumentando, assim, o número de dados e melhorando a sensibilidade. Na Figura 3.6 apresentamos o gráfico da redução das 4 horas de observação, de onde podemos notar que o ponto de temperatura máxima coincide com o ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia. Logo,

podemos afirmar que esta galáxia foi detectada, pela primeira vez, como emissora de rádio em 22 GHz, com temperatura de antena = 0,008 K e r.m.s. = 0,002 K. A densidade de fluxo correspondente a esta temperatura de antena é igual a 0,6 Jy.

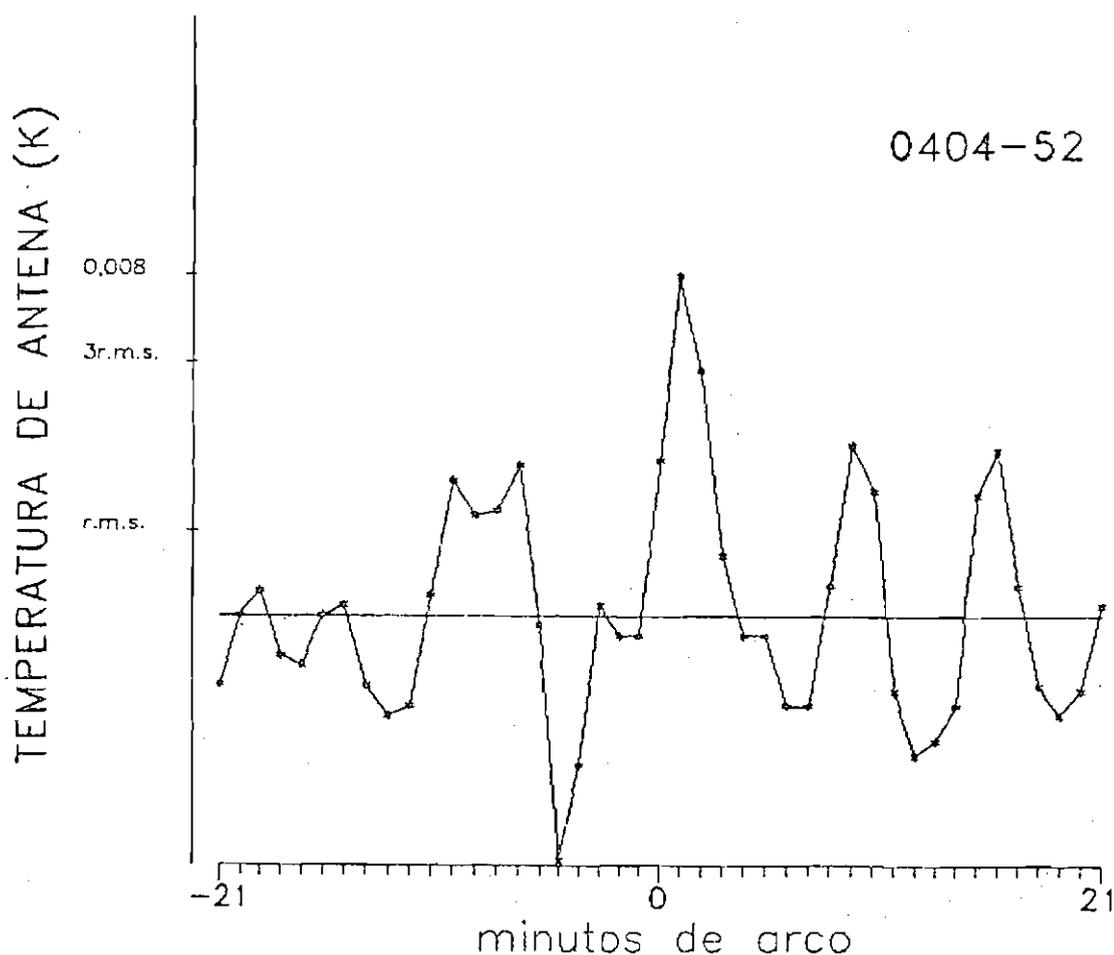


Fig. 3.6 - Resultado da observação de 0404-52 feita em 02/08/87 e 27/10/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são (0,008 0,002)K. A linha horizontal trata-se da linha de base.

Galáxias do tipo anã azul, como esta, possuem uma combinação de emissão não-térmica proveniente de remanescentes de supernovas jovens com uma considerável fração de emissão térmica livre-livre do gás opticamente fino. Para confirmar isto, deveriam ser feitas observações em frequências mais baixas a fim de discernir claramente as duas componentes.

f) 0430+05 (3C 120) foi observada em 31/03/87 durante duas horas com o céu limpo. A redução dos dados fornece temperatura de antena máxima = 0,039 K e um r.m.s. = 0,003 K. Na Figura 3.7 nota-se que o ponto de temperatura máxima coincide com o ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia.

Esta galáxia possui um jato e um contra-jato o que a torna peculiar opticamente. Ela vem sendo bastante estudada em frequências de rádio desde que foram descobertos movimentos superluminais em 1972. De lá até 1980 seu fluxo caiu de 15 Jy para 1 Jy.

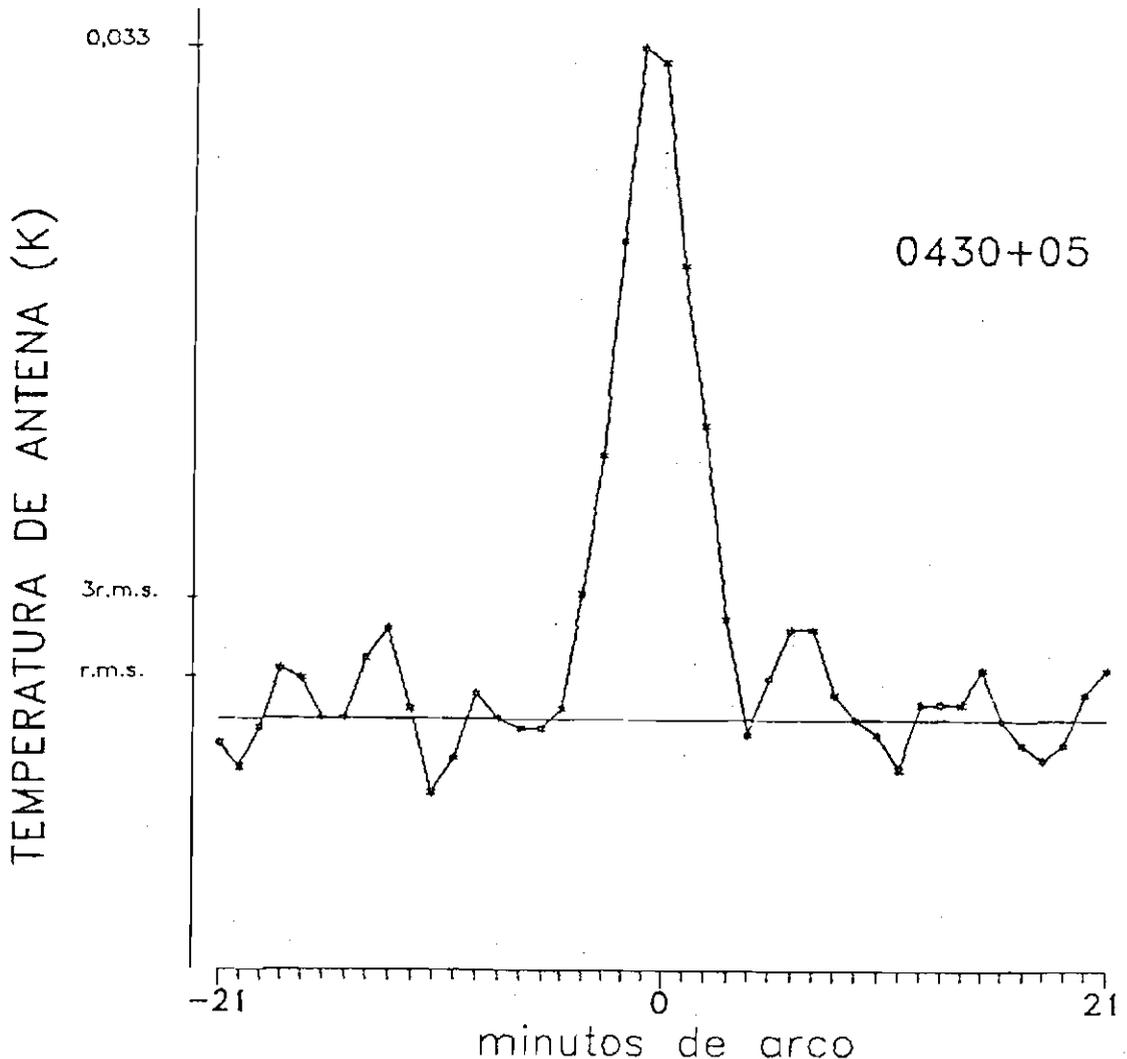


Fig. 3.7 - Resultado da observação de 0430+05 feita em 26/03/88. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,003 \pm 0,002)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base.

Como sabíamos desta variabilidade, observamo-la novamente quase um ano depois, em 26/03/88 e obtivemos temperatura de antena máxima = 0,033 K e r.m.s. = 0,002K. Assim, podemos comparar os dois resultados $(0,039 \pm 0,003)K$ e $(0,033 \pm 0,002)K$ e verificar que não houve variabilidade neste intervalo de tempo. Como a segunda observação apresentou um r.m.s. menor que a primeira, utilizamos a sua temperatura de antena para calcular a densidade de fluxo, que foi igual a 2,5 Jy.

- g) 0521-36 foi observada em 30/08/87 durante duas horas, com o céu limpo. A redução de dados fornece temperatura de antena máxima = 0,060 K e um r.m.s. = 0,002 K. Na Figura 3.8 nota-se que o ponto de temperatura máxima coincide com o ponto central, que corresponde à posição óptica da galáxia. A densidade de fluxo correspondente à temperatura de antena medida é igual a 4,5 Jy. Esta galáxia que é uma elíptica com um jato, já havia sido observada por Wills (1975) com a antena de 64 m de Parkes, em diversas frequências. Acrescentando o fluxo medido em 22 GHz, encontramos o espectro rádio da galáxia (Figura 3.9), que é típico de fonte não-térmica.

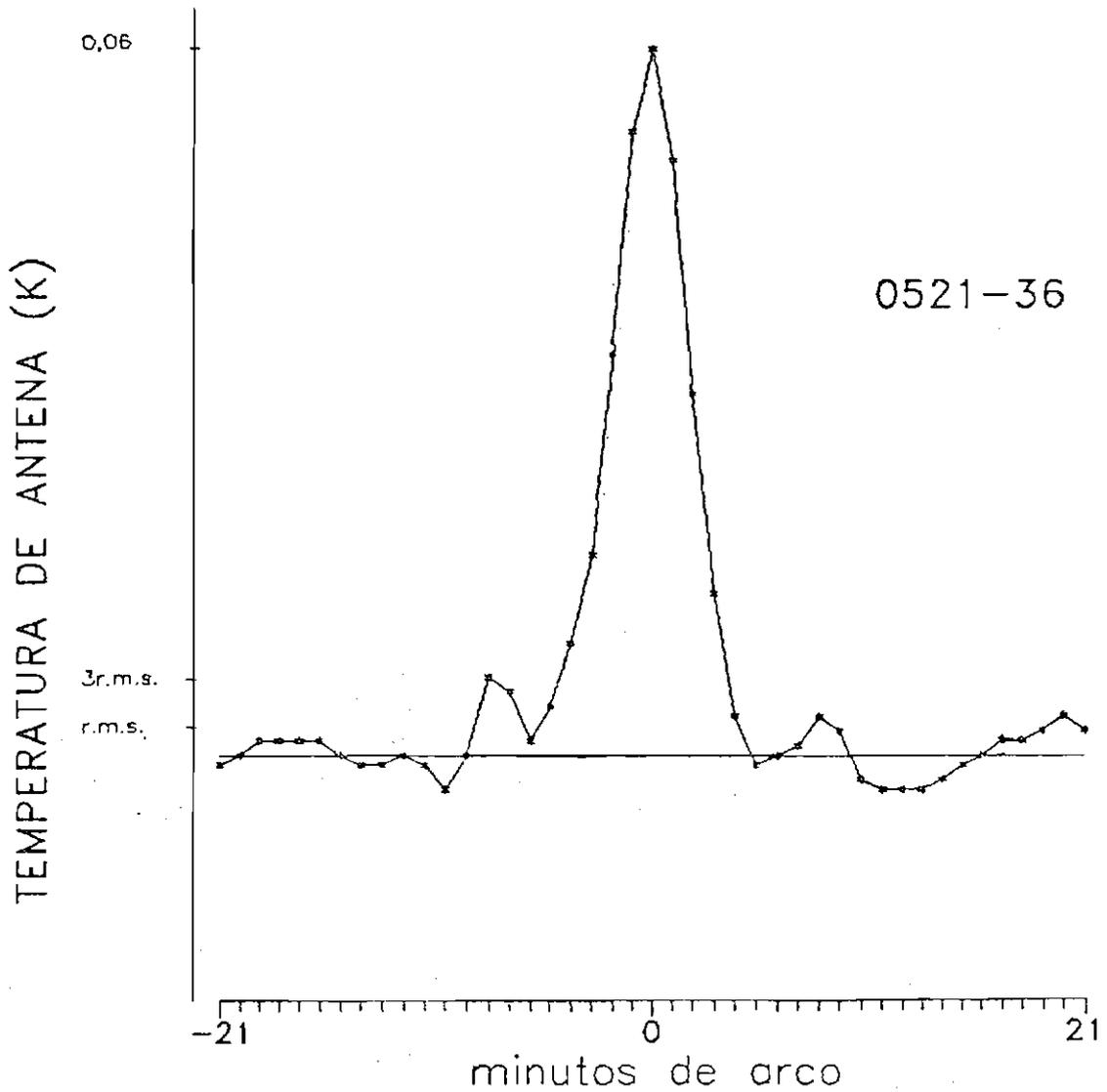


Fig 3.8 - Resultado da observação de 0521-36 feita em 30/08/87. A temperatura de antena máxima medida e o r.m.s. são $(0,060 \pm 0,002)K$. A linha horizontal trata-se da linha de base.

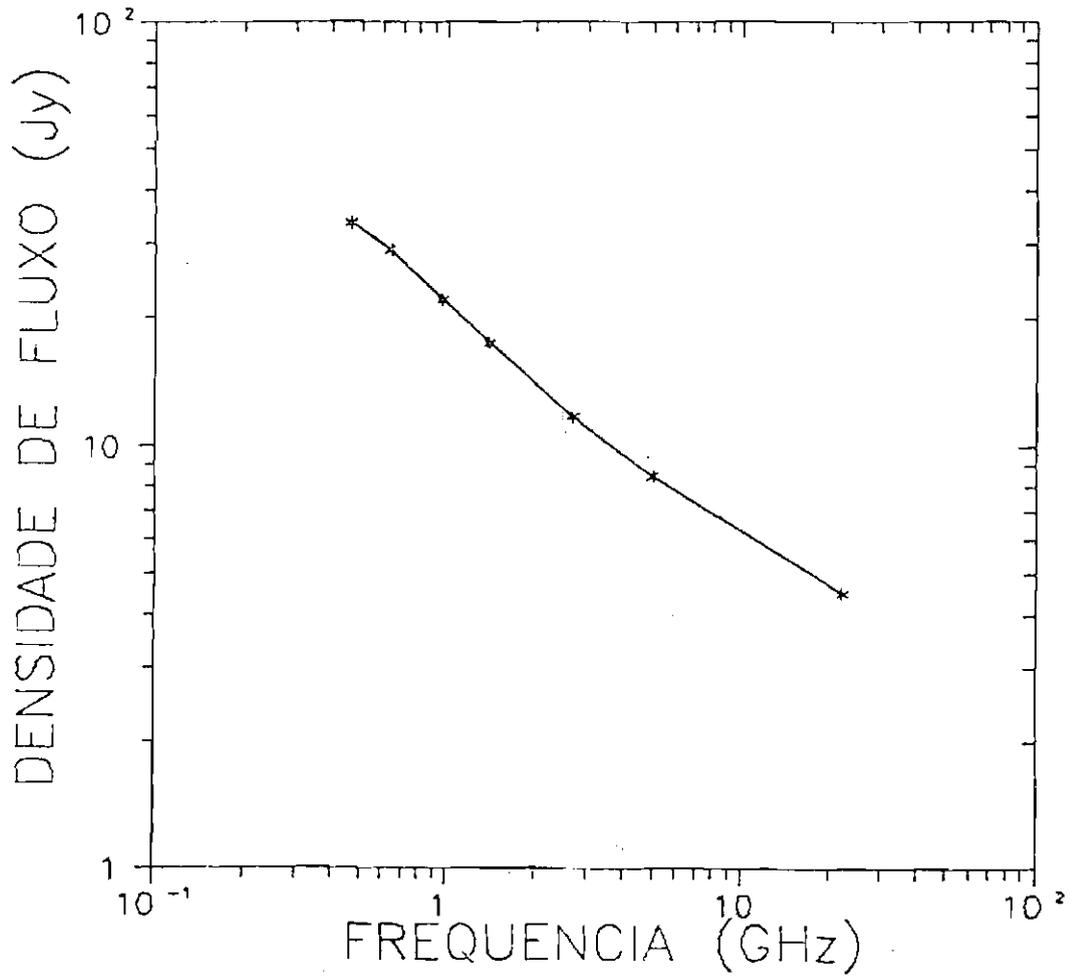


Fig. 3.9 - Espectro rádio da galáxia 0521-36.

3.2 - CONCLUSÕES

Comparando-se os resultados das observações das 3 fontes detectadas pela primeira vez com os resultados das galáxias que já eram fontes de rádio conhecidas, verifica-se que existe uma forte semelhança entre eles. Logo, conclui-se que utilizando-se o radiotelescópio de Itapetinga e a técnica de "Scan" é possível detectar-se fontes que são consideradas fracas, com densidade de fluxo menor que 1,0 Jy em 22 GHz, satisfatoriamente.

A amostra observada é composta de galáxias com diversos tipos de peculiaridades e as 3 galáxias detectadas como fontes possuem peculiaridades distintas (galáxia anã azul, galáxia com filamentos e galáxia com jatos) o que indica que não houve predominância de um determinado tipo de peculiaridade nas galáxias que foram detectadas como emisoras de rádio.

Para se conhecer a natureza da emissão de rádio destes 3 objetos, seria necessário observá-los em outras frequências e a partir de seus fluxos construir seus espectros, o que deixaremos como proposta para futuros trabalhos.

Conforme já dito anteriormente, a amostra foi escolhida para ser observada em frequência de rádio porque as peculiaridades ópticas de cada objeto eram indicadoras de possível emissão de rádio. As galáxias que não foram detectadas em 22 GHz não necessariamente não são fontes de rádio, talvez nossa sensibilidade não seja o suficiente para detectá-las e elas devam ser observadas com equipamentos mais sensíveis e em diversas frequências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, Z.; BOTTI, L.C.L.; DEL CIAMPO, L.F. Calibration methods in millimeter-wave radioastronomy. Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 12:415-418, Febr. 1986. Número especial.
- ARP, H. Atlas of peculiar galaxies. Astrophysical Journal Supplement Series, 14(s.f.):1-77, Nov. 1966.
- On the origin of arms in spiral galaxies. Sky and Telescopes, 38(6):385-387, Dec. 1969.
- 3C120 and the surrounding region of sky. Journal of Astrophysics and Astronomy, 8(3):231-239, Sept. 1987.
- ARP, H. MADORE, B.F. Preliminary results from the catalogue of southern peculiar galaxies and associations. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 18(2):234-241, 1987.
- A catalogue of southern peculiar galaxies and associations. University of Toronto. David Dunlap Observatory, 1987.
- BAARS, J.W.M.; GENZEL, R.; PAULINY-TOTH, I.I.K.; WITZEL, A. The absolute spectrum of Cas A; an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. Astronomy and Astrophysics, 61(1):99-106, 1970.
- BALKOWSKI, C.; CHAMARAUX, P.; WELIACHEW, L. HI study of the pair of compact galaxies II ZW70-IIZW71. Astronomy and Astrophysics, 69(2):263-270, Sept. 1978.
- BECKLIN, E.E.; FROGEL, J.A.; KLEINMANN, D.E.; NEUGEBAUER, G.; NEY, E.P.; STRECKER, D.W. Infrared observations of the core of Centaurus A. NGC5128. The Astrophysical Journal, 170(1 p. 2):L15-L19, Nov. 15, 1971.

- BOLTON, J.G.; CLARKE, M.E.; EKERS, R.D. Identification of extragalactic radio sources between declinations -20° and -44° . Australian Journal of Physics, 18(6):627-633, Dec. 1965.
- BRIDLE, A.H.; PERLEY, R.A. Extragalactic radio jets. In: Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Palto Alto, CA., Annual Reviews Inc., 1984, v. 22, p. 319-358.
- BURBIDGE, G.R., BURBIDGE, E.M.; SANDAGE. Evidence for the occurrence of violent events in the nuclei of galaxies. Reviews of Modern Physics, 35(4):947-972, Oct. 1963.
- CAYATTE, V.; SOL, H. The active galaxy PKS0521-36, and its optical jet. Astronomy and Astrophysics, 171(1/2):25-32, Jan. 1987.
- CLUTTON-BROCK, M. How are intergalactic filaments made? Astrophysics and Space Science, 17(2):292-324, 1972.
- CHRISTIANSEN, W.N.; FRATER, R.H.; WATKINSON, A.; O'SULLIVAN, J.D.; LOCKHART, I.A.; GOSS, W.M. Observations of 15 southern extragalactic sources with the Fleurs synthesis telescope. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 181(1):183-202, Oct. 1977.
- CHINCARINI, G.; TARENGHI, M.; SOL, H.; CRANE, P.; MANOUSOYANNAKI, I.; MATERNE, J. The Horologium region. I. The data. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 57(1):1/22, July 1984.
- DANZIGER, I.J.; SHAVER, P.A.; MOORWOOD, A.F.M.; FOSBURY, R.A.E.; GOSS, W.M.; EKERS, R.D. The multifaceted active galaxy PKS0521-36. The Messenger-ESO (39):20-22, Mar. 1985.
- D'ODORICO, S. Spectroscopic study of the double galaxy NGC3395-3396. The Astrophysical Journal, 160(1 p. 1):3-10, Apr. 1970.

- FREEMAN, K.C.; DE VAUCOULEURS, G. An interpretation of ring galaxies and the properties of intergalactic gas clouds. The Astrophysical Journal, 194(3 p. 1):569-586, Dec. 15, 1974.
- FISHER, J.R.; TULLY, R.B. Neutral hydrogen observations of DDO dwarf galaxies. Astronomy and Astrophysics, 44(1):151-171, Nov. 1975.
- GHIGO, F.D. Radio continuum emission in ring galaxies. The Astronomical Journal, 85(3):215-225, Mar. 1980.
- GORDON, D.; GOTTESMAN, S.T. HI observations of blue compact galaxies. The Astronomical Journal, 86(2):161-177, Febr. 1981.
- HODGE, P. Dwarf galaxies. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Palto Alto, CA, Annual Reviews Inc., 1984, v. 22, p. 319-358.
- JAFFE, W.J.; PEROLA, G.C.; TARENGHI, M. Radio observations of II ZW40. The Astrophysical Journal, 224(3 p. 1):808-811, Sept. 15, 1978.
- KAUFMANN, P.; SCHAAL, R.E.; LEPINE, J.R.D. Sobre algumas características técnicas originais do novo radiotelescópio de Itapetinga para ondas milimétricas (projeto milimack). Revista Brasileira de Tecnologia, 2(3):139-151, Sept. 1971.
- KEEL, V. Radio continuum emission: A tracer for star formation. Astronomy and Astrophysics, 116(1):175-178, Dec. 1982.
- KLEIN, U.; WIELEBINSKI, R.; THUAN, T.X. Radio continuum observations of blue compact dwarf galaxies. Astronomy and Astrophysics, 141(1):241-247, Dec. 1984.
- KUNKEL, W.; BRADT, H. Identification of the nucleus of NGC5128. The Astrophysical Journal, 170(p. 2):L7-L10, Nov. 1971.

- LAUBERTS, A. The ESO/Uppsala Survey of the ESO(B) Atlas. La Silla, European Southern Observatory, 1982.
- LYNDS, R.; TOOMRE, A. On the interpretation of ring galaxies: The binary ring system II Hz 4. The Astrophysical Journal, 209(2 p. 2):382-388, Oct. 1976.
- MATHEWSON, D.S.; VAN DER KRUIT, P.C.; BROUW, W.N. A high resolution radio continuum survey of M51 and NGC5195 at 1415 MHz. Astronomy and Astrophysics, 17(3):468-486, 1972.
- MOFFET, A.T. The structure of radio galaxies. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Palto Alto, CA., Annual Reviews Inc., 1984.
- NILSON, P. Dwarf galaxies. In: UPPSALA ASTRONOMICAL OBSERVATORY, Santiago, 1973. v. 6.
- PURTON, C.R.; WRIGHT, A.E. High frequency radio observation of optically interacting galaxies. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 159(3):15-20, 1972.
- RYTER, C.E. Extragalactic high energy astrophysics. Geneva Observatory, 1979, p. 205-220.
- SEIELSTAD, G.A.; COHEN, M.H.; LIENFIELD, R.P.; MOFFET, A.T.; ROMNEY, J.D.; SCHILIZZI, R.T.; SHAFER, D.B. Further monitoring of the structure of superluminal radio sources. The Astrophysical Journal, 229(1 p. 1):53-72, Apr. 1979.
- SOL, H. Jets et sources radio extragalactiques. These de Doctorat D'Etat, Université de Paris VII, 1987.
- STOCKE, J.T. Excess radio emission from close pairs of galaxies. The Astronomical Journal, 83(4):348-359, Apr. 1978.

- STOCKE, J.T.; TIFTT, W.G.; KAFTAN-KASSIM, M.A. A radio continuum survey of isolated pairs of galaxies. The Astronomical Journal, 83(4):322-347, Apr. 1978a.
- TATEYAMA, C.E. Mapas no contínuo de rádio em 22 GHz da região do centro galáctico, Carina e Centaurus A. Tese de mestrado, Observatório Nacional, 1982, p. 98.
- THEYS, J.C.; SPIEGEL, E.A. Ring galaxies. The Astrophysical Journal, 208(3 p. 1):650-711, Sept. 1976.
- THUAN, T.X.; SETZER, P.O. An HI survey of Nilson dwarf galaxies. II. Statistical properties. The Astrophysical Journal, 231(3 p. 1):680-687, Aug. 1979.
- VAN DEN BERGH, S. Catalogue of dwarf galaxies. University of Toronto. David Dunlap Observatory, 1959.
- VORONTSOV-VELYAMINOV, B.A. Interaction of multiple systems. In: IAU. Problems of Extragalactic Research; symposium held at Paris, Aug. 10-12, 1961. p. 194-200. (IAU Symposium, 15).
- Atlas and catalogue of interacting galaxies. Moscow University, 1959, Pt. 1.
- 160 interacting galaxies of the M51 class. Soviet Astronomy, 19(4):422-427, 1975.
- WADE, C.; HJELLMING, T.; KELLERMANN, K.; WARDLE, J. Radio emission from the nucleus of NGC5128. The Astrophysical Journal, 170(1 p. 2):L11-L13, Nov. 15, 1971.
- WILLS, B.J. Accurate spectra of 300 radio sources from the Parkes catalogue: observational results. Australian Journal of Physics Astrophysical Supplement, 38:1-65, Nov. 1975.

WRIGHT, A.E. Computational models of gravitationally interacting galaxies. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 157(3):309-333, 1972.

—— A radio survey of interacting galaxies. Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 167(2):251-272, May 1974.

WRIGHT, A.E.; SAVAGE, A.; BOLTON, J.G. The Parkes 2700 MHz survey (Twelfth part) catalogue for declination - 45° to -65° , right ascensions 22h to 06h. Australian Journal of Physics Astrophysical Supplement, 41:1-23, Apr. 1977.

ZWICKY, F. Compact galaxies and compact parts of galaxies. I. The Astrophysical Journal, 140:1467-1471, July 1-Nov. 15, 1964.

—— Compact galaxies and compact parts of galaxies. II. The Astrophysical Journal, 143(1):192-202, Jan. 1966.

APÊNDICE A

Imagens CCD obtidas por Helene Sol com o telescópio dinamarquês de 1,5 m do European Southern Observatory (ESO), equipado com uma câmera CCD (tipo SID 53612) de 300 X 520 pixels (1 pixel = 0,41 minutos de arco). As imagens contêm identificações de algumas estrelas dos campos de 2 X 4 minutos de arco, que foram chamadas de α , β , ... ; a galáxia principal que foi chamada de A e as demais galáxias que foram chamadas de B, C,

IMAGENS CCD

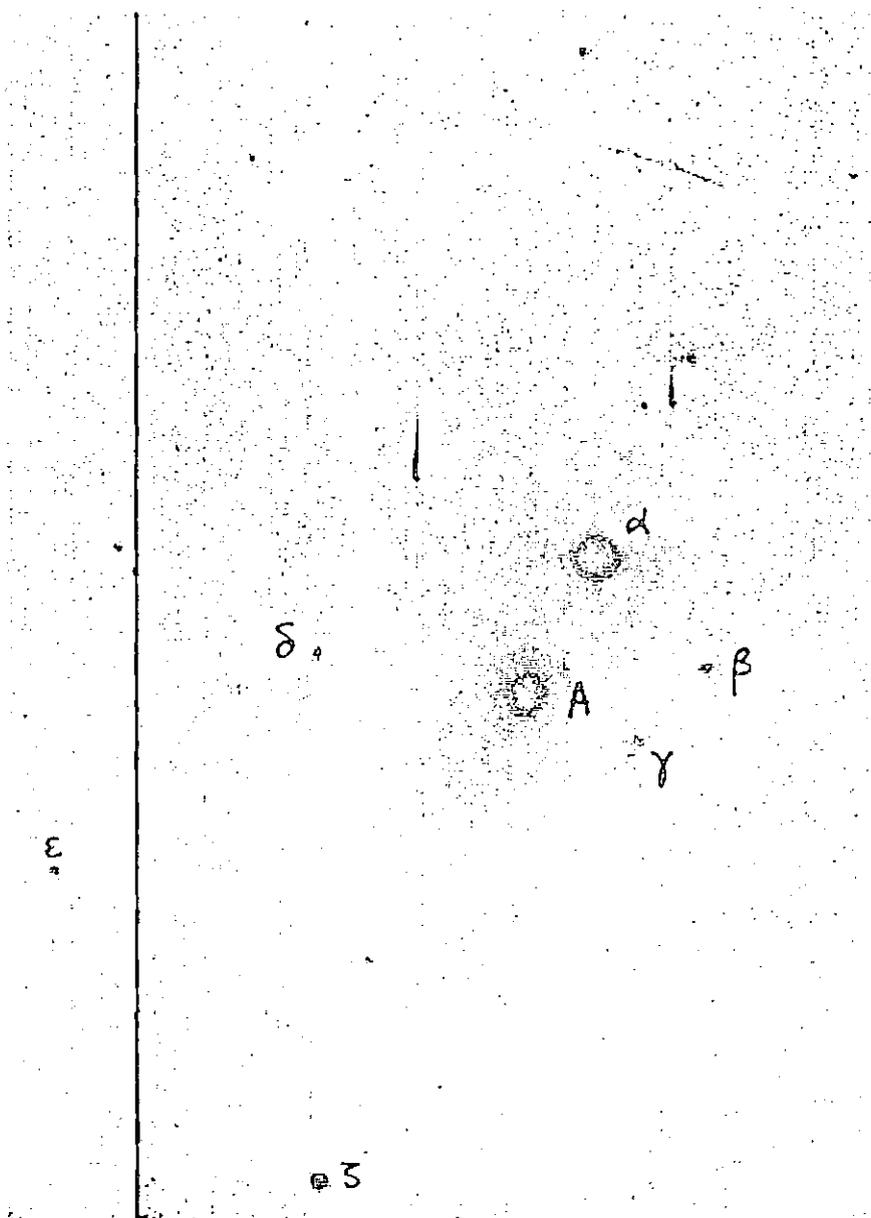


Fig. A.1 - Galáxia 0145-48 classificada por Sol (1987) como galáxia com extensão.

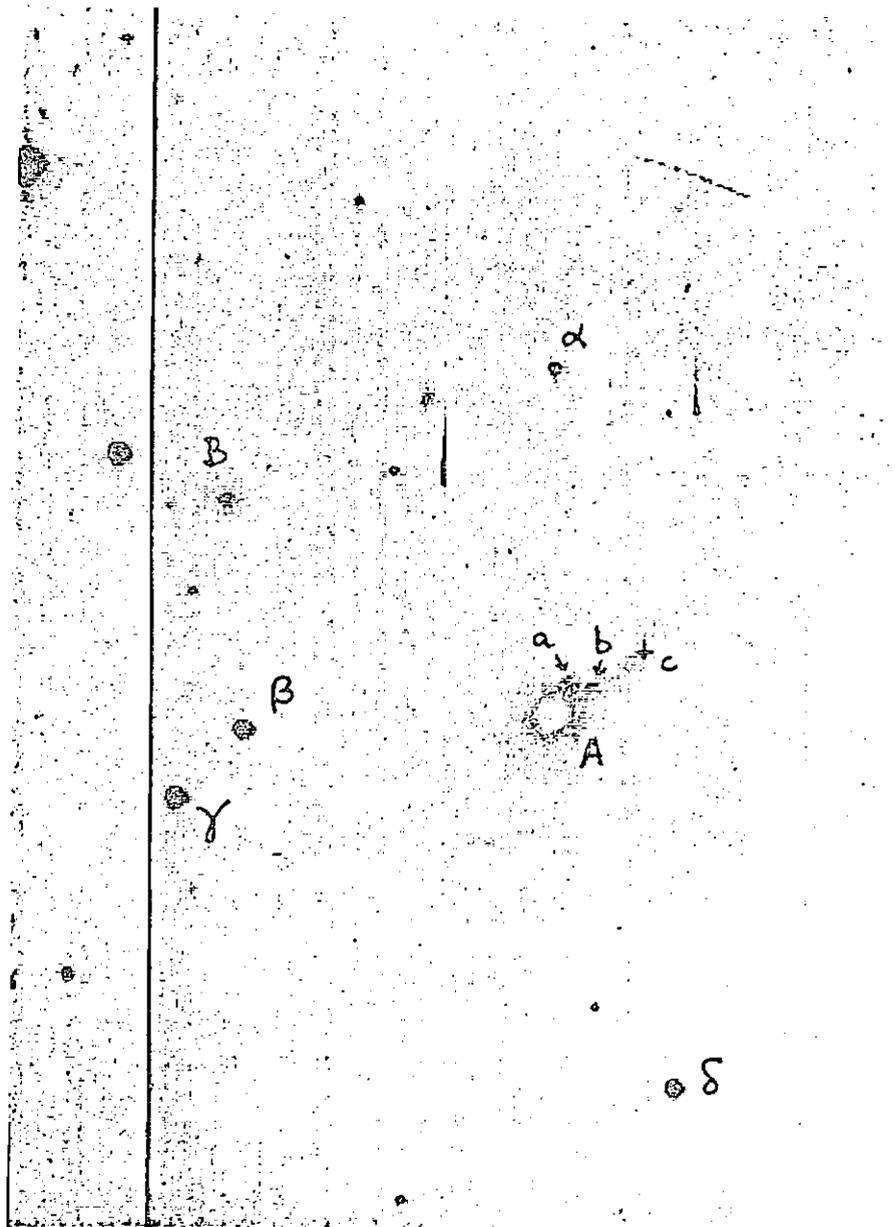


Fig. A.2 - Galáxia 0147-27 classificada por Lauberts (1982) como galáxia com cauda e membro de um aglomerado.

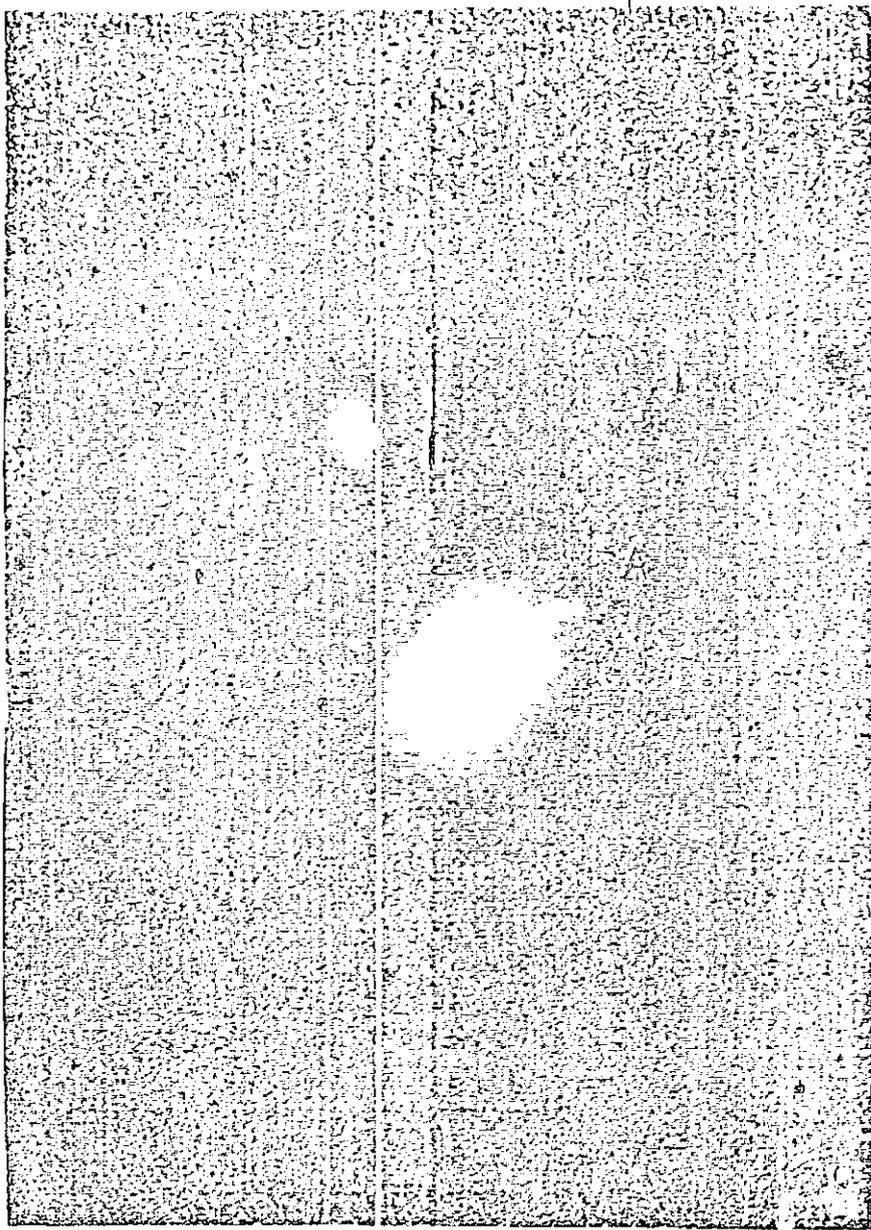


Fig. A.3 - Galáxia 0229-58 classificada por Lauberts (1982) como uma SO.

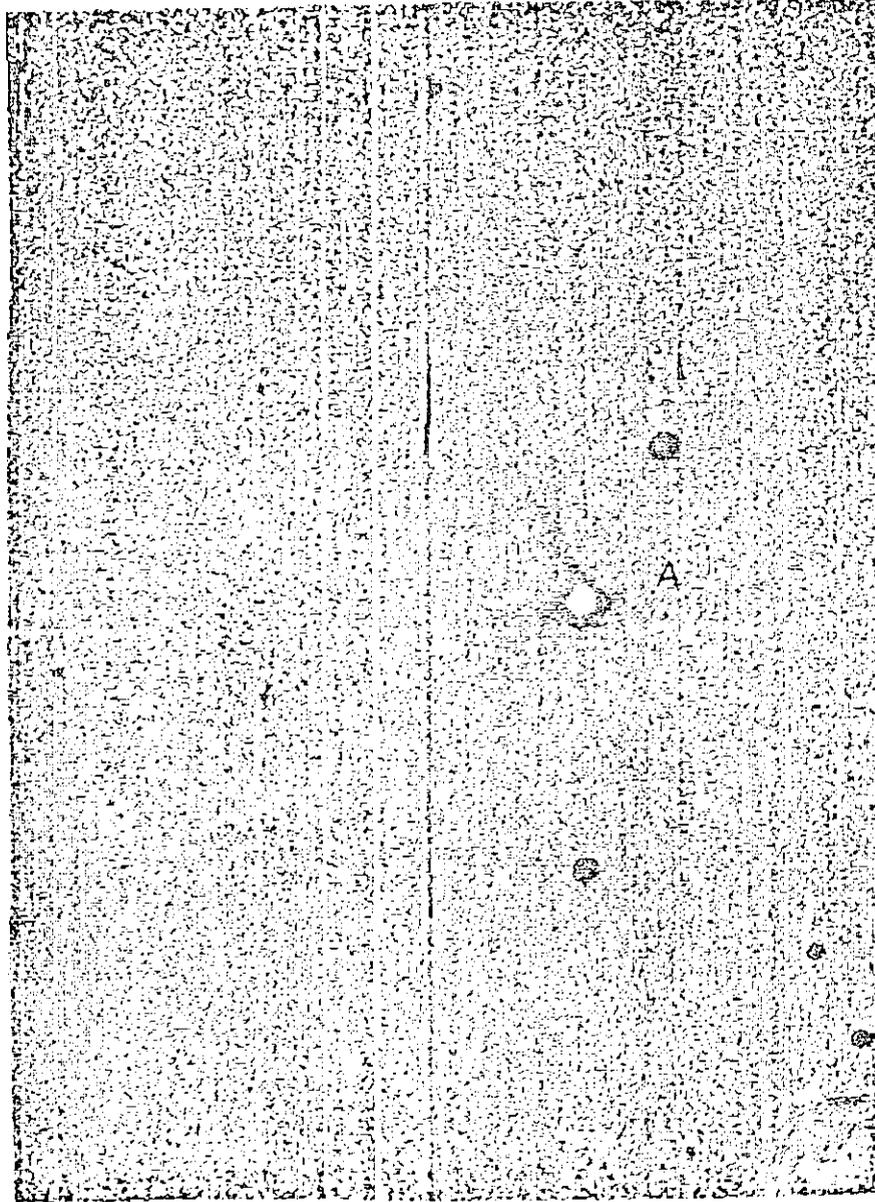


Fig. A.4 - Galáxia 0339-54 classificada por Lauberts (1982) como galáxia com 2 filamentos perpendiculares.

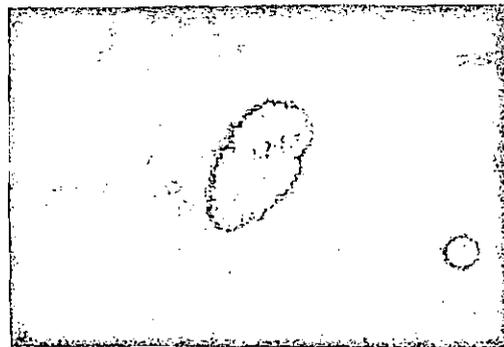
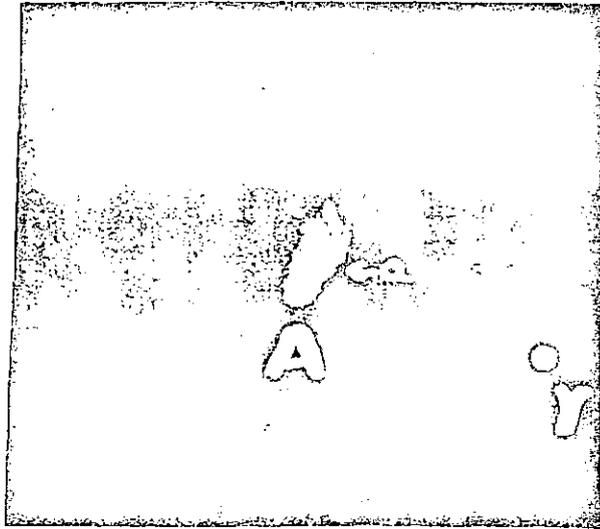


Fig. A.5 - Galáxia 0404-52 classificada por Sol (1987) como uma galáxia anã azul.

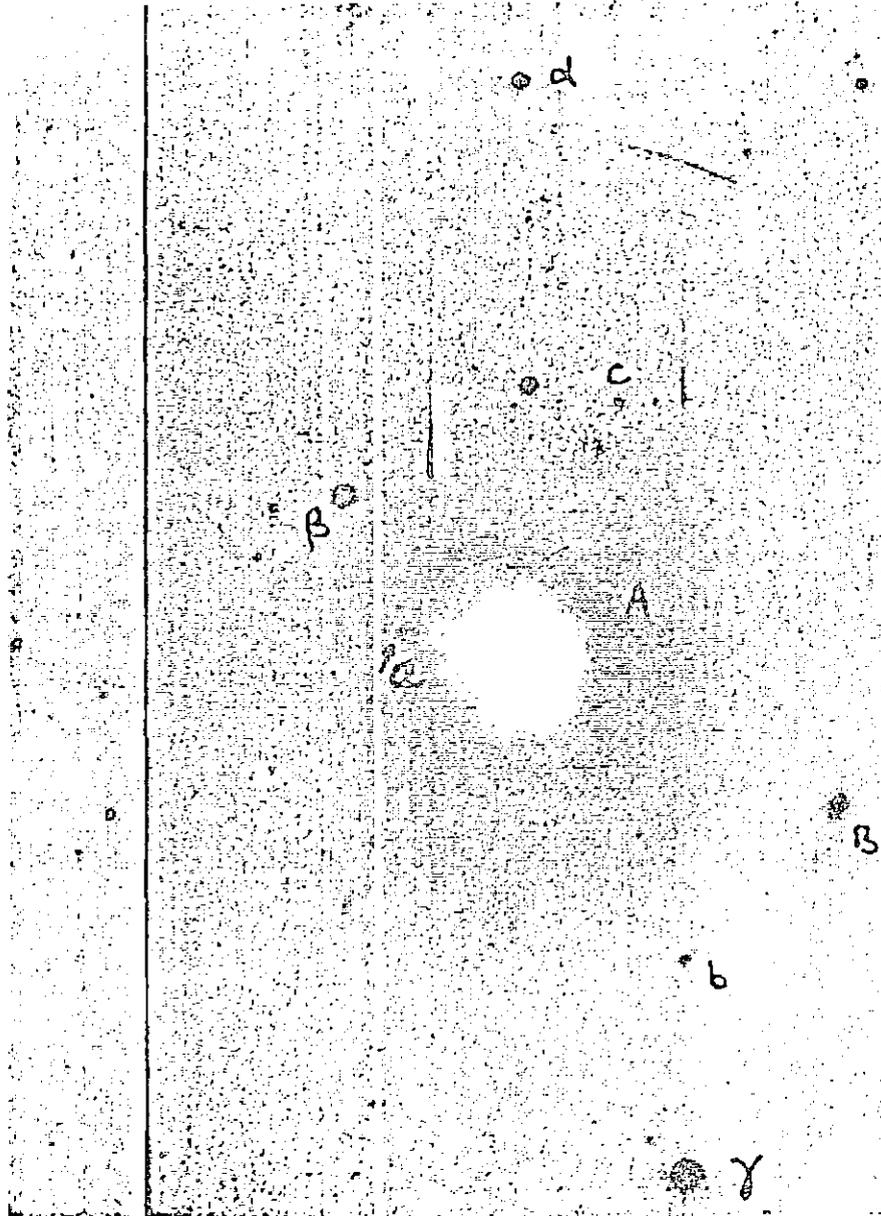


Fig. A.6 - Galáxia 0422-51 classificada por Sol (1987) como uma galáxia Sa com jato.

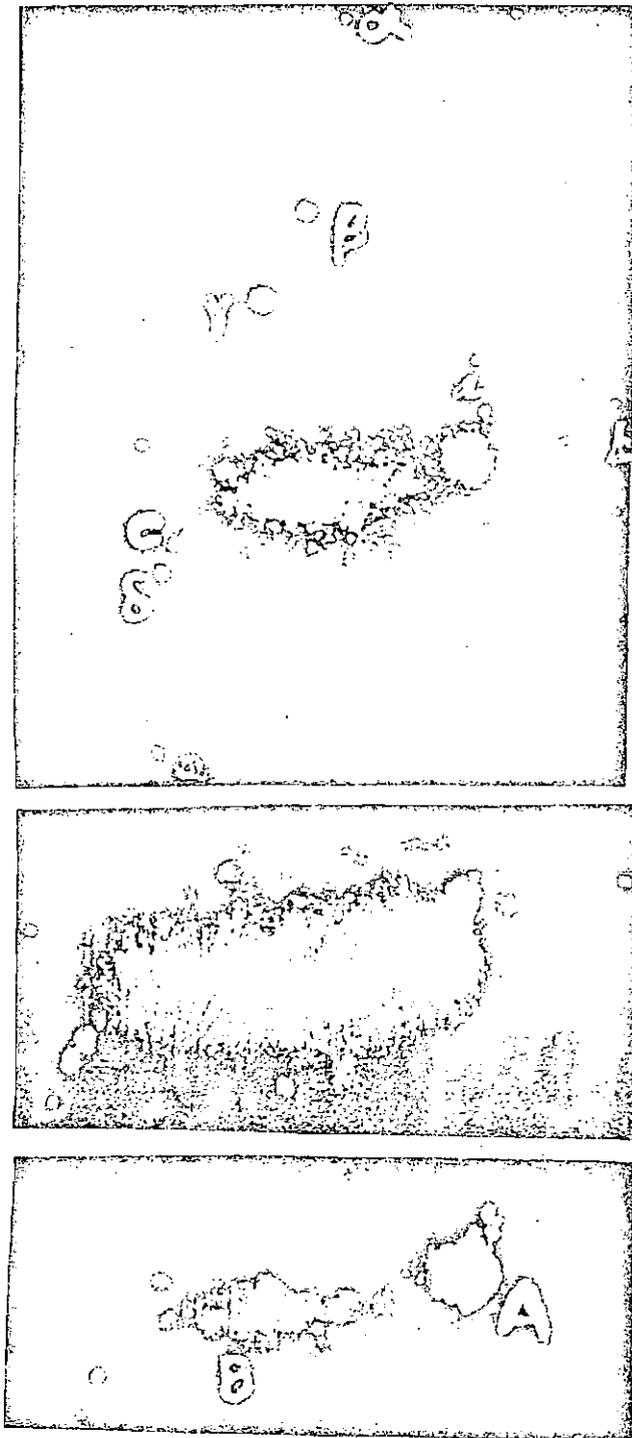


Fig. A.7 - Galáxia 0426-55 classificada por Sol (1987) como uma galáxia interativa com cauda.

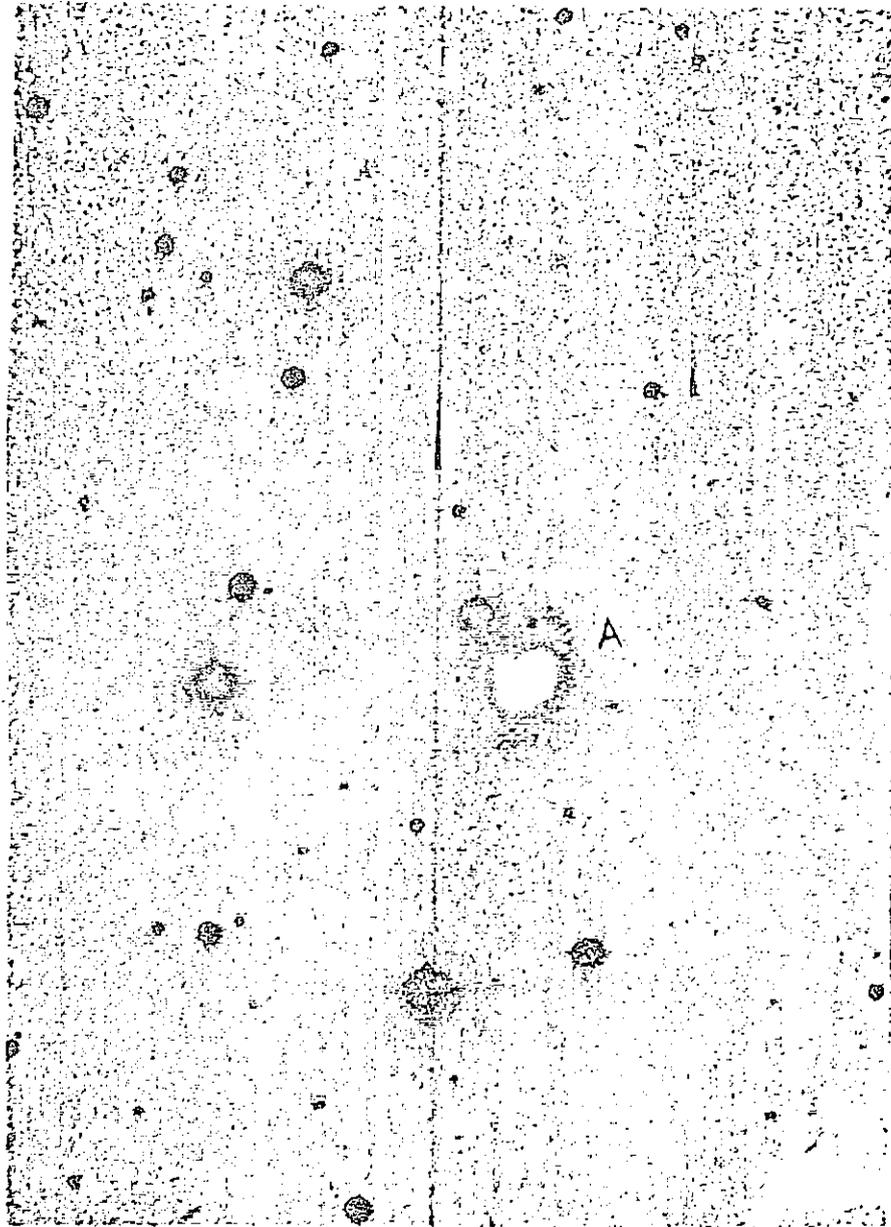


Fig. A.8 - Galáxia 0606-29 classificada por Lauberts (1982) como uma galáxia S com jato.

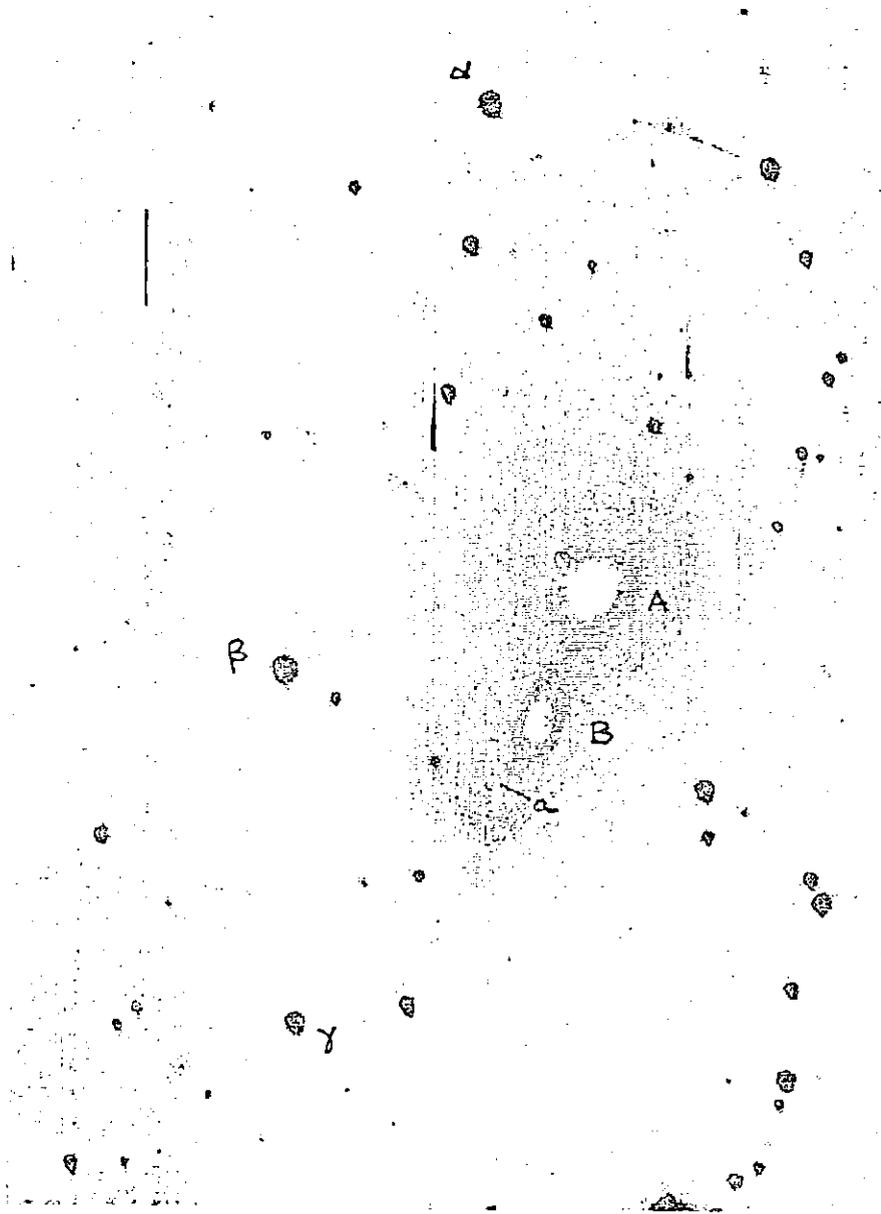


Fig. A.9 - Galáxia 0646-64 classificada por Sol (1987) como uma galáxia interativa.