

UNIVERSIDADE da MADEIRA
CCM-Centro de Ciências Matemáticas

“ Restrições a Modelos de Núcleos
Galácticos Activos (AGN):
A Evolução de Rádio-Galáxias
e o Tamanho da Região Emissora de
Riscas Estreitas (no espectro de AGN)”

- Construção da Base de Dados

Nuno Gonçalo Martins da Silva Aparício

Fevereiro de 2001

Índice

1	Objectivos.....	2
2	Introdução.....	2
2.1	AGN	2
2.2	Rádio-galáxias.....	3
2.3	NLR.....	3
3	A Amostra de 55 fontes	4
3.1	Seleção	4
3.2	Classificação morfológica e física.....	4
4	Resultados Obtidos e Trabalho Futuro	5
4.1	Rádio.....	5
4.2	Óptico	7
4.3	Raio-X	9
5	A Construção da Base de Dados.....	11
6	Bibliografia.....	12

1 Objectivos

O objectivo científico geral deste projecto prende-se com o estudo de núcleos galácticos activos (AGN)¹. De um modo mais específico, focar-se-á atenção na evolução de rádio-galáxias e no tamanho da região emissora de riscas estreitas² (no espectro de AGN).

Para tal foram seleccionadas 55 fontes rádio com espectro plano, numa escala angular de 90-300 miliarcsec (mas) e da ordem de 0.5-1.5 kpc de extensão.

Pretende-se fazer uma classificação morfológica e física destas 55 fontes. Para isso serão necessárias observações em três zonas do espectro electromagnético: rádio, óptico e raio-X.

Com este estudo espera-se poder revelar restrições às actuais teorias de evolução de rádio-galáxias, bem como, pela primeira vez, estimar geometricamente o tamanho real da região emissora de riscas estritas (NLR).

2 Introdução

2.1 AGN

Designa-se por AGN uma classe geral de galáxias activas³ que emitem enormes quantidades de radiação (daí o nome de galáxias activas).

A sua descrição standard considera a existência de um buraco negro (em rotação) extremamente massivo (da ordem de 10^6 - 10^9 massas solares), no centro da galáxia.

Em redor do núcleo existe um disco de acreção, que é a zona de onde tem origem o contínuo de energia desde os raios γ e raios-X até ao rádio.

Em torno do disco existe uma zona denominada BLR, que contém uma enorme quantidade de gás ionizado (10^2 - 10^4 massas solares) com temperaturas da ordem de 10^4 K. Para lá da região BLR existe um 'toro' (com forma e tamanho variável) de poeiras que emite na banda dos IV.

Em redor do toro existe a denominada região NLR. Esta é a região de emissão de riscas estreitas. Aqui, a fotoionização tem menos importância que na zona BLR. Contudo, a massa desta região (material ionizado) é elevada, da ordem de 10^9 massas solares. Nesta região a densidade do material é menor que na região BLR em virtude desta última ocupar uma menor extensão.

¹ Active Galactic Nuclei.

² Narrow-Line Emitting Region (NLR).

³ Do tipo E (elíptica) ou S (espiral).

Para finalizar a descrição, falta referir que os AGN emitem jactos de plasma⁴, os quais são extremamente extensos (10-1000 kpc), tendo origem na proximidade do núcleo. A sua emissão faz-se em direcções opostas, segundo o eixo de rotação do buraco negro.

De acordo com a teoria actual sobre AGN, estes podem apresentar diferentes características e propriedades conforme o ângulo de observação.

Se o ângulo entre o AGN e o observador for cerca de 30° - 90° , veremos uma rádio-galáxia, para ângulos menores, 10° - 30° , veremos quasares e para ângulos de cerca de 0° - 10° , veremos blazares.

A evolução de um AGN segue desde um período inicial de formação, depois um período luminoso (com duração da ordem de 10^{10} anos), terminando com a sua extinção. Pensa-se que um AGN extinto poderá conter parte da matéria escura existente no Universo.

2.2 Rádio-galáxias

Como o nome indica, são galáxias que emitem radiação com frequência na banda rádio, ou seja, da ordem de 10^6 - 10^8 Hz (ou 1-100 MHz). A sua extensão pode ser de alguns kpc (de interesse para o projecto) até cerca de 2 Mpc. Estas galáxias são normalmente constituídas por uma região nuclear e por dois lobos/jactos diametralmente opostos. Medições da extensão dos lobos da rádio-galáxia permitem fazer estimativas para a sua idade. Valores típicos são da ordem de 10^5 - 10^6 anos.

Há dois objectos jovens (10^3 - 10^4 anos) candidatos a rádio-galáxias com interesse para o projecto, e que são os CSOs e os MSOs⁵. Os CSOs têm uma dimensão nuclear da ordem de 1-1000 pc, que os torna preciosos para sondar o meio interestrelar das regiões centrais dos AGN. Os MSOs, são semelhantes aos CSOs mas podem atingir maiores dimensões, até 15 kpc. Com base neste estudo, pretende-se também determinar a frequência de ocorrência de CSOs e MSOs.

2.3 NLR

Completando o que acima foi dito, as NLR têm dimensões típicas da ordem de 0.1-1 kpc, apresentando uma distribuição esférica ou não. É uma zona com uma temperatura de cerca de 10^4 K.

⁴ Há casos em que só um jacto é visível. Esses objectos denominam-se CJs (core-jets sources).

⁵ CSOs - compact symmetric objects , MSOs – medium symmetric objects.

3 A Amostra de 55 fontes

3.1 Selecção

A amostra de fontes de rádio com espectro plano e com dimensões da ordem de kpc estudadas no projecto, foi seleccionada a partir de duas pesquisas do VLA⁶ (a Jodel-VLA Astrometric Survey⁷ e a Cosmic Lens All-Sky Survey⁸) a 8.4 GHz e com uma resolução de ~ 200 mas. Estas duas pesquisas identificaram um total de ~ 4700 fontes. Destas, a designada amostra mãe contendo 1665 fontes, foi seleccionada com base em três critérios:

- 1) $S_{8.4} \geq 100 \text{ mJy}$
- 2) $\alpha_{1.4}^{4.85} < 0.5$
- 3) $|b''| > 10^0$

Destas amostra mãe foram posteriormente seleccionadas apenas as fontes (55 no total, cerca de 3%) com estrutura significativa na escala angular 90-300 mas. Destas, 49 vieram da pesquisa JVAS e as restantes 6 de CLASS.

3.2 Classificação morfológica e física

De modo a poder fazer uma classificação morfológica, foram feitas sucessivas observações com resoluções cada vez melhores. Inicialmente foram feitas com o MERLIN a 5 GHz (com uma resolução de ~ 50 mas), que permitiu classificar cerca de 75% da amostra. As outras observações foram feitas recorrendo ao VLBA⁹ (a 5 GHz e com resolução de ~ 2 mas), tendo em alguns casos, ainda usado MERLIN a 22 GHz (com resolução de ~ 10 mas).

Alguns dos dados necessários para a classificação são, por exemplo, mapas de índices espectrais, densidades de fluxo, índices espectrais, polarização.

Feita uma introdução geral ao projecto, passa-se agora a expor com mais detalhe os resultados obtidos mais recentes e a indicar o trabalho futuro para cada uma das abordagens: rádio, óptico e raio-X.

⁶ VLA – Very Large Array.

⁷ JVAS.

⁸ CLASS.

⁹ VLBA – Very Large Baseline Array.

4 Resultados Obtidos e Trabalho Futuro

4.1 Rádio

Para uma parte da amostra de 55 fontes, estão já reunidos numa tabela (Tabela 3.1, Augusto et al. 1998) alguns dos dados que permitirão classificá-las morfológicamente e fisicamente. Aí pode constatar-se que, por exemplo, 24 objectos (cerca de metade) já têm os mapas de índices espectrais ($\alpha_{1.6}^5$) de alta resolução disponíveis ou quase, pois já existem os dados. Pretende-se produzir estes mapas para todas as fontes, pelo que se espera ter acesso aos dados do VLBA – banda L (1.4/5 GHz).

Uma importante propriedade é a densidade de fluxo. É intenção da equipe determinar as densidades de fluxo a 100 MHz para todas as fontes, pois para a grande maioria delas ainda falta determinar a frequência de corte do espectro. Com vista a resolver esta questão, foi feito um pedido para o VLA 74 MHz, mais foi rejeitado.

Assim, terá de ser abandonada a hipótese do VLA, pelo menos até à altura em que possam ser feitas observações com um único radio-telescópio (*single-dish observations*). Espera-se ainda obter colaboração com cientistas russos (*Puschino Observatory*). Pensa-se que, para grande parte das fontes, seria apropriado usar o interferómetro GMRT a 150 MHz.

Outra característica que é necessário estudar é a polarização. Foram já apresentadas as polarizações das 55 fontes a 8.4 GHz (Augusto et al. 1998). Em geral, os valores são muito pequenos, com uma média de 2%. Constata-se que as duas principais populações da amostra, os CSO/MSOs e os CJs, apresentam diferentes distribuições, sendo os CJs mais polarizados que os outros.

Este facto reforça a ideia de que um estudo da polarização é importante para a compreensão da amostra.

Para conduzir este estudo, o VLBA parece ser o equipamento ideal a que se deve submeter uma proposta no futuro¹⁰, especialmente por três razões:

- 1º) a resolução é superior,
- 2º) consegue fazer a análise da polarização e tratamento de imagem ao mesmo tempo, mesmo a duas ou mais frequências diferentes (se for preciso), e ainda consegue processar mapas de índices espectrais em tempo real (algo impossível com o EVN),
- 3º) talvez seja uma saída para as contantes recusas por parte do EVN.

O conhecimento sobre a polarização permitirá ainda investigar os campos magnéticos e os choques do material do jacto com o meio envolvente, e portanto, levar a uma melhor compreensão física das 55 fontes, tendo em conta as suas propriedades a diferentes comprimentos de onda.

Como já foi dito, é intenção da equipe contruir mapas dos índices espectrais para toda a amostra de 55 fontes. Parte desse trabalho já foi realizado (já estão disponíveis 9 mapas, estando 15 à espera da redução de dados). Para o completar serão

¹⁰ Foi abandonada a hipótese de usar o EVN (European VLBI Network) pois, presentemente, atingiu o seu limite no que respeita a medições de polarização.

necessários os dados de 1.6 MHz, com MERLIN para as maiores fontes, e EVN+MERLIN ou VLBA para as mais pequenas.

Também já foi apresentada a curva de distribuição dos índices espectrais das fontes. Essa curva apresenta um deslocamento para o lado dos maiores valores¹¹, quando comparada com a curva da amostra mãe. Este facto poderá ser explicado por uma correlação entre a estrutura rádio e um valor elevado do índice espectral.

Outra questão em ainda em aberto, prende-se com a variabilidade das fontes rádio. Inicialmente, para a determinação dos índices espectrais, foram usados dois catálogos (White & Becler 1992 - 1.4 GHz, e Gregory & Condon 1991 - 4.85 GHz), existindo actualmente dois outros mais recentes que os vieram substituir (NVSS – Condon et al. 1998, e GB6 – Gregory et al. 1996, respectivamente). A primeira actualização foi mais importante que a segunda, pois resultou de uma nova pesquisa, conduzida 10 anos depois da inicial.

Face a estas actualizações, procurou-se saber se resultariam alterações ao número de fontes seleccionadas da amostra mãe se se tivessem usado os catálogos actualizados (mantendo o mesmo critério $\alpha_{1.4}^{4.85} < 0.5$). Verificou-se que cerca de 27%¹² seriam excluídas da amostra. Pensa-se que o facto de terem decorrido 10 anos entre a recolha de dados dos catálogos, poderá contribuir de modo significativo para este valor.

No entanto, a comparação das curvas de distribuição dos índices espectrais usando os catálogos antigos e recentes revelou-se semelhante, o que levou a concluir que o critério adoptado é estável face à variabilidade das fontes (do ponto de vista estatístico).

Um facto curioso foi que das 15 fontes que seriam excluídas, 11 serem CSO/MSOs (sendo as restantes quatro CJs). Questionou-se se os CSO/MSOs estariam a mostrar sinais de envelhecimento ou a ficar cada vez maiores, dando origem a espectros mais inclinados. Outra questão levantada prendeu-se com um possível aumento da luminosidade.

A resposta à primeira questão parece ser incompatível com o facto da idade dos CSO/MSOs ser da ordem de 10^3 - 10^5 anos. No entanto, concluiu-se ser possível que os CSO/MSOs cujo critério se situasse próximo do limite adoptado, o deixassem de verificar passados 10 anos.

Contudo, foi realçado o facto de que para todos os onze CSO/MSOs e quatro CJs que seriam excluídos, o índice espectral $\alpha_{1.4}^{4.85}$ ter aumentado neste período de dez anos, provavelmente devido ao aumento das densidades de fluxo (e luminosidades).

Este comportamento não é geral para o resto da amostra, pois a maioria apresentaram variações opostas do índice espectral. Mais investigação será necessária para clarificar esta questão. Deve-se portanto, analisar os detalhes de cada uma das 55 fontes de modo a procurar explicar estas variações.

Presentemente está em curso uma pesquisa na literatura sobre as 55 fontes, procurando explicar a não verificação do critério passados 10 anos e a variabilidade

¹¹ Cerca de 2/3 das fontes têm valores compreendidos entre $\alpha \sim 0.3 - 0.5$.

¹² Corresponde a 15 das 55 fontes.

de fontes rádio em pequenos intervalos de tempo. Existe um critério¹³ para classificar se uma fonte é variável ou não. Ainda subsistem dúvidas quanto à sua aplicabilidade.

Foi colocada a questão sobre o facto da variabilidade se processar gradualmente ou num curto intervalo de tempo.

Sobre esta matéria, um primeiro estudo poderá ser feito verificando os intervalos de tempo entre as recolhas de dados, para todas as fontes classificadas como variáveis.

Com os dados actuais e partindo do princípio que os CJs são mais variáveis que os CSO/MSOs, tudo aponta para que a variabilidade seja gradual (para todas as fontes que 'variam').

A redução de dados de MERLIN 1.6 GHz (banda L) das treze maiores fontes da amostra abriu uma nova linha de investigação no projecto: a procura de fontes com somente um jacto. Segundo a descrição do modelo de AGN acima exposto, normalmente, este é contituído por um buraco negro supermassivo¹⁴ central, que emite dois jactos diametralmente opostos. No caso de haver apenas um jacto, pela conservação do momento linear, o SBH terá de estar em movimento na direcção oposta ao jacto.

Foi questionada a importância que terá este facto para o modelo standard de AGN. (Saika et al. 1996) previram a existência deste tipo de fontes compatível com o modelo standard de AGN. A banda L que tem sido estudada será ideal para a detecção da estrutura longa, característica dos jactos rádio. Será então possível encontrar este tipo de objectos na amostra.

Por fim, três casos foram seleccionados pelo seu maior interesse para o projecto, e que são: Abell 2390, Hercules A e M87¹⁵. Mais recentemente, outro objecto despertou um interesse especial, e que foi o B2201+044. Os dois primeiros objectos poderão fornecer informações sobre o processo que condiciona o jactos e outras características morfológicas das rádio-galáxias. Com este estudo, espera-se contribuir para resolver a dúvida que subsiste em saber se a evolução das rádio-galáxias é influenciada pela sua vizinhança.

4.2 Óptico

O trabalho no óptico consiste, basicamente, em fazer fotometria e espectroscopia. Vejamos primeiro a fotometria.

Duas propostas foram aceites para a realização de fotometria BRVI no Nordic Optical Telescope (NOT). Aconteceram em Setembro de 1999 e Fevereiro de 2000. Das 55 fontes da amostra, foram observadas 42 (cerca de 76%), restando apenas 12.

Também foram observados 5 objectos da amostra mãe, retirados de uma sub-amostra de controlo de JVAS/CLASS com 100 objectos (a maior parte deles com informação fotométrica e sobre o *redshift*). O processo de redução de dados está concluído.

¹³ Baseado nas densidades de fluxo a uma dada frequência.

¹⁴ SBH.

¹⁵ Esta fonte não pertence, em rigor, à amostra de 55, pois tem $\alpha_{1.4}^{4.85}=0.65$ (valor recente).

Duas conclusões foram extraídas destas sessões: 1º) na segunda sessão houve muita poeira na atmosfera, 2º) foram observadas magnitudes até 23 na banda R e I (nem todos os objectos foram observados na banda B e V).

Está já disponível um diagrama côr-côr destas análises. Verificou-se que os objectos têm índice de côr V-R e R-I entre 0 e 1, mas têm índice de côr B-V numa gama de valores mais extensa. Há também dois objectos vermelhos (índice de côr B-V ~ 2.2).

Como ainda poucos dados foram obtidos (só foram observados 5 objectos da amostra mãe), não se pode retirar neste momento, uma conclusão sobre o índice de côr dos CSO/MSOs.

Outro desejo da equipe, é o de realizar fotometria no Infravermelho-próximo, de preferência para todas as fontes, pois os resultados já obtidos indicam que a maioria das fontes são muito débeis até à banda I.

Para isso será necessário prosseguir as observações pelo menos até à banda K, de modo a se poderem obter boas estimativas do *redshift* por fotometria (só para algumas fontes foram feitas medidas do *redshift*). Para já, assume-se que toda a amostra tem $z > 0.2$.

Com este objectivo, serão submetidas propostas para o Telescopio Nazionale Galileo (TNG) e também para o Calar Alto Telescope (usando o OMEGA de 3.5 m ou o MAGIC de 2.2 m).

De modo a completar as fotometria BRVI para os 12 objectos que faltam, poderão ainda ser usados os telescópios IAC de 80 cm ou o JKT de 1m.

Quanto à espectroscopia, há já alguns resultados: de entre as 35 fontes sem qualquer informação espectroscópica, estão 16 *empty fields* (EF) (identificação POSS¹⁶). Foram feitas duas propostas de espectroscopia para o telescópio de La Palma, mas foram rejeitadas. Assim, pensa-se submeter uma proposta para o WHT de 4.2 m em La Palma (usando ISIS para as 27 fontes mais débeis). É desejo da equipe obter os espectros das 8 fontes mais brilhantes (tarefa rápida de realizar com o WHT).

Mais tarde, pensa-se em submeter propostas para o NOT ou para o Isaac Newton Telescope (INT) (usando IDS). Para analisar as fontes mais débeis, poderá recorrer-se ao Calar Alto Telescope de 3.5 m (usando TWIN).

Uma outra perspectiva de observação será com o Hubble Space Telescope (HST). Para isso será usada inicialmente uma lista das posições dos 1665 objectos da amostra mãe de JVAS/CLASS1, para ver se algum deles já foi observado com o HST (vários casos foram-no já com certeza).

Depois se decidirá sobre a ciência relevante que se espera obter do HST para as 55 fontes. Pensa-se que provirá das observações da banda-estreita (de algumas fontes com *redshift* apropriado), esperando então detectar-se um alinhamento óptico-rádio devido à formação de estrelas originadas pela interacção dos jactos com o meio interestrelar.

¹⁶ Palomar Observatory Sky Survey. A sua classificação compreende G (galaxy), EF (*empty fields*), BSO (*blue stellar objects*) e RSO (*red stellar objects*).

Um argumento contra o uso de CSO/MSOs nesta pesquisa, será a sua idade (menor que 10^6 anos). Contudo não deverá haver este problema com as sondas NLR, que constituem mais de metade da amostra.

Comparando os dados recolhidos com os do catálogo POSS, chegou-se à conclusão que, normalmente, os objectos somente com um jacto, são *blue stellar objects* (BSO). Os CSO/MSOs encontram-se normalmente em galáxias, podendo ser classificados como *galaxies* ou *empty fields*.

4.3 Raio-X

No passado, várias missões no raio-X foram realizadas, sendo a mais importante a ROSAT. Esta realizou duas pesquisas: 1) a RASS (em todo o céu; com uma sensibilidade de $\sim 10^{-12}$ erg/cm²/s) e 2) as *Pointed Observations* (cobrindo $\sim 10\%$ do céu; com uma sensibilidade de $\sim 10^{-14}$ erg/cm²/s).

Infelizmente, quase todas as fontes da amostra têm fluxos de raio-X inferiores ao limite de RASS. Com muita sorte, poderão constar no catálogo das *Pointed Observations*.

Duas novas missões (com sensibilidade semelhante, $\sim 10^{-15}$ erg/cm²/s), irão ter lugar no futuro, e que são: 1ª) Chandra/AXAF (cobre $\sim 1\%$ do céu), e 2ª) Newton/XMM (cobre $\sim 5\%$ do céu). Assim, num futuro próximo não se espera detectar as fontes da amostra (só talvez para 2002, quando Newton der resultados).

Portanto, terão de primeiro identificar e classificar quais os melhores objectos da amostra que serão submetidos à observação no raio-X. De momento, parece ser Chandra o instrumento ideal a que se devem submeter propostas.

Foi dito que, o facto das fontes provavelmente terem picos de luminosidade a comprimentos de onda no rádio, não significa que o mesmo aconteça no raio-X. No que respeita à emissão de raio-X, as fontes são 'ordinárias'. Mais ainda, o facto da maior parte delas serem muito jovens (os CSO/MSOs) constitui um obstáculo à possibilidade de detecção de radiação X por elas emitida.

O interesse na informação do raio-X dos objectos são vários:

1) juntamente com a informação dos índices espectrais, comparar os objectos rádio-'silenciosos' com os rádio-'barulhentos' (nomeadamente os CSO/MSOs), e procurar alguma evolução.

2) a densidade da coluna de hidrogénio (N_H) dará informações sobre o material circum-nuclear. Pode também estudar-se a área de onde são provenientes os jactos, percebendo algo sobre a inclinação da fonte.

3) estudar a vizinhança (*cluster*) tentando encontrar uma estrutura extensa correspondente ao gás em redor da galáxia que contém o objecto. Talvez forneça informação sobre o meio em redor do *cluster*, e também sobre o meio intergaláctico.

Assim, quando forem feitas propostas para observação no raio-X, deverão ter-se em conta os seguintes aspectos:

1) dimensões das rádio galáxias da ordem de *arcsecond*, o que provavelmente excluirá todos os CSOs, deixando somente os MSOs (poderão fazer análises de espectroscopia com os CSOs).

2) a fonte deverá estar posicionada num *cluster*, de modo a se poder prever a sua luminosidade (isto deverá ser possível com o tratamento de imagem no óptico, nos casos em que a galáxia ‘envolve’ a fonte).

Para as fontes que se revelem mais interessantes, tenciona-se submeter uma proposta para o Chandra. Também se pensou em submeter uma proposta para o XMM, com o intuito de obter espectros dos mais promissores CSO/MSOs.

Estas duas últimas propostas só deverão ser levadas a cabo em 2002, já depois de terminado o projecto.

5 A Construção da Base de Dados

Irá ser criada uma base de dados que irá armazenar informação sobre as diversas propriedades que caracterizam cada uma das fontes do projecto. Esta estará disponível ao utilizador por intermédio de interfaces simplificadas.

Para a construção da base de dados será seguida a seguinte metodologia:

Etapa/ Passo	Descrição
Identificação de Requisitos (modelo de dados e interface)	<ul style="list-style-type: none"> identificar tipos de dados a manipular na base de dados criar modelo de relações entre dados definir atributos dos dados definir modos de interface validação de requisitos para a base de dados
Escolha da Ferramenta	<ul style="list-style-type: none"> validação da ferramenta Microsoft Access2000
Desenvolvimento da Base de Dados	<ul style="list-style-type: none"> desenvolvimento do protótipo inicial ensaio do protótipo validação do protótipo escolha da solução para publicação na web local (Intranet) e Internet desenvolvimento de interface para web desenvolvimento da 1ª versão da base de dados testes de desempenho da base de dados validação de desempenho

Pretende-se uma base de dados em que a introdução da informação seja feita directamente no écran de utilização. Para tal, existirá um menu inicial a partir do qual essa introdução será realizada. Posteriormente, será possível ao utilizador escolher que informação pretende visualizar, permitindo também a sua impressão num documento ou o envio para um ficheiro, para pós-processamento.

A abordagem a seguir será modular para permitir um desenvolvimento modular, que permita a adaptação às necessidades funcionais identificadas.

Algumas vantagens do uso da ferramenta Microsoft Access2000 face a uma linguagem de programação:

- análise mais simples
- menor tempo de desenvolvimento
- construção de interfaces com outras aplicações (pub. web, excel, etc) mais fáceis
- tem um suporte profissional
- é mais fácil de manter

A performance e o preço das licenças poderão ser algumas desvantagens.

6 Bibliografia

- 1) Pedro AUGUSTO, J. Ignacio GONZALES-SERRANO, Nectaria A. B. GIZANI, Alastair C. EDGE and Ismael PEREZ-FOURNON - “Constraining models of Active Galactic Nuclei: evolution of radio galaxies and the size of the narrow-line region”, Internal Report (CCM), January 2001.
- 2) “Constraining Models of Active Galactic Nuclei: evolution of radio galaxies and the size of the arrow-Line Region”.
- 3) P. AUGUSTO, P. N. WILKINSON and I.W.A. BROWNE – “Flat-spectrum radio sources with kpc-scale structure”, February 1998¹⁷.
- 4) T. CONNOLLY, C. BEGG, A. STRACHAN – "Database Systems", Addison Wesley, 1999.
- 5) P. AUGUSTO – “Astronomia Extragaláctica”, Fevereiro 1998.

¹⁷ Esta publicação contém uma exposição dos resultados obtidos para cada uma das 55 fontes.