

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Departamento de Astronomia

Morfologia de galáxias Seyfert no infravermelho – emissão e contínuo¹

Fausto Kuhn Berenguer Barbosa

Dissertação realizada sob orientação da
Profa. Dra. Thaisa Storchi Bergmann
e apresentada ao Instituto de Física da
UFRGS em preenchimento parcial dos re-
quisitos para a obtenção do título de Mes-
tre em Física.

Porto Alegre, Março - 2002

¹Trabalho financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

*Às mulheres mais importantes da minha vida:
minha mãe Teresinha, minha irmã Silvia e
minha amada Karen Fiuza.*

Agradecimentos

Todas as mães são iguais como diz o ditado, porém tenho que agradecer especialmente a minha mãe que além de fazer os papéis típicos de mãe se superou como mãe tendo sempre disposição para fazer quilos de comidas integrais, para o filho chato. Outra pessoa a quem dedico especial agradecimento é a Silvia, minha maninha querida que sempre foi 100% apoio.

Agradeço a minha namorada, minha estrela preferida, companheira que me agüentou durante todos os anos de vida acadêmica e, se eu assim merecer, espero me agüente por mais outros tantos.

Agradeço a minha orientadora Thaisa Storchi-Bergmann pela sua incansável dedicação como orientadora.

Sou bastante grato por aqueles professores que fizeram muitas vezes mais do que seus papéis de professores e aconselharam nos momentos importantes.

E já que estamos entrando no âmbito acadêmico, gostaria de lembrar da excelente companhia dos colegas de laboratório que não deixam o ânimo cair: Angelo, Jules, Sandro, Leandro, Henrique, Fabricio, Daiana, a Daniela, o Rodrigo (rns ;-) e o Alessandro.

Há alguns anos houve a extinção da rubrica de assistência estudantil no orçamento das IFES (Instituições Federais de Ensino Superior) por parte do governo federal. Apesar disto a UFRGS criou mecanismos para destinar, ao menos parte, dos fundos que eram normalmente repassados e necessários para a manutenção dos serviços de assistência estudantil até então conquistados. Neste sentido eu gostaria de manifestar minha gratidão às pessoas que se empenham em preservar a assistência estudantil e, principalmente, a moradia estudantil sem a qual eu e centenas de estudantes da UFRGS não teriam a chance de ingressar na vida acadêmica. Algumas dessas pessoas a quem devo minha moradia são os próprios colegas da CEU e de outras moradias. A esses devo agradecimento especial pois também foram principalmente amigos (alguns são praticamente familiares): o Fernando (“irmão”), o André (parceiro das indiadas), o Péricles (o mais novo irmão), a Catiane, a Cris, o César, o Moisés e tantos outros mais que sabem da amizade que tenho por eles.

Uma outra família que me adotou nesses anos de Porto Alegre foi a da dona Gelda e seu Otacílio (Pinguinho ;-), a quem devo muitos domingos agradáveis ao lado de minha namorada e outras tantas pessoas extremamente prestativas: Rosane, Lurdes, Paulinho, Vilma, Aurélio e as crianças (inúmeras!). Agradeço também ao Cássio por sua muito boa amizade.

A dezenas de outras pessoas que povoam meu cotidiano e sem as quais não há como passar os dias, muito obrigado.

Sumário

Agradecimentos	2
Resumo	8
Abstract	9
1 Introdução	10
2 Amostra	13
2.1 NGC 4388	13
2.2 NGC 4945	14
2.3 NGC 3227	14
2.4 ESO 428-G14	15
2.5 NGC 5252	15
2.6 NGC 1566	15
2.7 NGC 3393	16
2.8 NGC 5506	16
3 Aquisição e redução de dados	18
3.1 Observações	18
3.2 Reduções	18
3.3 Calibração	20
3.3.1 Contínuo	20
3.3.2 Linha	22
4 Resultados	27
4.1 NGC 3227	27
4.1.1 [Fe II]	27
4.1.2 Contínuo	28
4.2 NGC 4388	38
4.2.1 H ₂	38
4.2.2 Contínuo	38
4.3 NGC 4945	44
4.3.1 H ₂	44
4.3.2 [Fe II]	44
4.3.3 Contínuo	45
4.4 NGC 5252	51
4.4.1 [Fe II]	51
4.4.2 H ₂	51
4.4.3 Contínuo	52
4.5 ESO 428-G14	53

4.5.1	[Fe II]	53
4.5.2	H ₂	53
4.5.3	Contínuo	54
4.6	NGC 1566	57
4.6.1	[Fe II]	57
4.6.2	H ₂	57
4.6.3	Contínuo	58
4.7	NGC 3393	61
4.7.1	H ₂	61
4.7.2	Contínuo	61
4.8	NGC 5506	62
4.8.1	[Fe II]	62
4.8.2	H ₂	63
4.8.3	Contínuo	63
5	Discussão	67
5.1	Origem da emissão [Fe II]	67
5.2	Origem da emissão do H ₂	68
5.3	Origem do Contínuo	69
5.4	NGC 3227	73
5.5	NGC 4388	73
5.6	NGC 4945	74
5.7	NGC 5252	75
5.8	ESO 428-G14	76
5.9	NGC 1566	76
5.10	NGC 3393	76
5.11	NGC 5506	77
6	Sumário e Conclusões	78
6.1	Imageamento	78
6.2	Emissão em [Fe II]	78
6.3	Emissão em H ₂	79
6.4	Contínuo	80
	Referências Bibliográficas	81

Lista de Figuras

3.1	Planckiana para a estrela S217-D.	22
3.2	Planckiana para a estrela 708-D.	22
3.3	Planckiana para a estrela P550-C.	23
3.4	Planckiana para a estrela S264-D.	23
3.5	Filtros usados no turno de 1999.	24
3.6	Filtros usados no turno de 2000.	24
4.1	Isofotas da NGC 3227 no filtro 1.257 e 1.06	28
4.2	Tons de cinza da NGC 3227 no filtro 1.06	29
4.3	Tons de cinza da NGC 3227 no filtro 1.257.	30
4.4	Contornos de [Fe II] sobrepostos aos tons de cinza do filtro 1.06	31
4.5	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	32
4.6	Contagens 1.257 μm <i>versus</i> 1.06 μm após escalonamento	32
4.7	Contagens 1.257 μm <i>versus</i> 1.06 μm após convolução	33
4.8	Incerteza fotométrica na galáxia NGC 3227	33
4.9	Tons de cinza e contornos na banda J	34
4.10	Tons de cinza e contornos na banda H	34
4.11	Tons de cinza e contornos na banda K	35
4.12	Tons de cinza e contornos da cor J–H	35
4.13	Tons de cinza e contornos da cor H–K	36
4.14	Tons de cinza e contornos da cor J–K	36
4.15	Perfis de brilho μ_J , μ_H e μ_K	37
4.16	Cores obtidas a partir dos perfis de brilho	37
4.17	Elipticidade e P.A. em função do raio	37
4.18	Contornos de H ₂ sobrepostos a imagem do contínuo	38
4.19	Tons de cinza e contornos na banda J	39
4.20	Tons de cinza e contornos na banda H	40
4.21	Tons de cinza e contornos na banda K	41
4.22	Perfis de brilho μ_J , μ_H e μ_K	41
4.23	Cores dos perfis de brilho	41
4.24	Elipticidade e P.A. na banda J em função do raio	42
4.25	Tons de cinza e contornos de J–H	42
4.26	Tons de cinza e contornos de H–K	43
4.27	Tons de cinza e contornos de J–K	43
4.28	Contornos de H ₂ sobrepostos ao contínuo	45
4.29	Contornos de [Fe II] sobrepostos aos tons de cinza do contínuo	46
4.30	Tons de cinza e contornos da imagem no filtro J	47
4.31	Tons de cinza e contornos da imagem no filtro H	48
4.32	Tons de cinza e contornos da imagem no filtro K	48
4.33	Tons de cinza e contornos de J–H	49
4.34	Tons de cinza e contornos de H–K	49

4.35	Tons de cinza e contornos de J–K	50
4.36	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	51
4.37	Tons de cinza e contornos de H ₂	52
4.38	Tons de cinza e contornos da banda J	53
4.39	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	54
4.40	Tons de cinza e contornos de H ₂	55
4.41	Tons de cinza e contornos da banda J	55
4.42	Tons de cinza e contornos da banda K	56
4.43	Tons de cinza e contornos de J–K	56
4.44	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	57
4.45	Tons de cinza e contornos de H ₂	58
4.46	Tons de cinza e contornos da banda J	59
4.47	Tons de cinza e contornos da banda K	59
4.48	Tons de cinza e contornos de J–K	60
4.49	Tons de cinza e contornos de H ₂	61
4.50	Tons de cinza e contornos da banda K	62
4.51	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	63
4.52	Tons de cinza e contornos de [Fe II]	64
4.53	Tons de cinza e contornos de H ₂	65
4.54	Tons de cinza e contornos da banda J	65
4.55	Tons de cinza e contornos da banda K	66
4.56	Tons de cinza e contornos de J–K	66
5.1	Diagrama J–H <i>versus</i> H–K para a NGC 4945	70
5.2	Diagrama J–H <i>versus</i> H–K para a NGC 4388	71
5.3	Diagrama J–H <i>versus</i> H–K para a NGC 3227	71
5.4	Cores J–K	72

Lista de Tabelas

2.1	Informações básicas das galáxias da amostra.	13
3.1	Registro das observações dos turnos de 1999 e 2000.	25
3.2	Estrela padrão do turno de 1999 (Persson et al. 1998).	25
3.3	Estrelas padrão usadas na calibração do turno 2000 (Persson et al. 1998).	26
3.4	Pontos zero de magnitude e incerteza correspondente no turno de 2000 (não é possível determinar a incerteza para o turno de 1999 pois só existe uma estrela).	26
3.5	Constantes de calibração para os filtros de banda estreita As incertezas no turno de 1999 não foram computadas pois neste turno só existe uma estrela padrão.	26
4.1	Fotometrias de abertura	29
4.2	Fotometrias de abertura	39
4.3	Comparação das magnitudes e cores deste trabalho com as de Moorwood & Glass (1984).	46

Resumo

O presente trabalho apresenta uma análise morfológica de imagens de 8 galáxias Seyfert nas linhas de emissão infravermelhas $[\text{Fe II}]\lambda 1.257 \mu\text{m}$, $[\text{Fe II}]\lambda 1.644 \mu\text{m}$ e/ou $\text{H}_2\lambda 2.122 \mu\text{m}$, bem como de imagens no contínuo nas bandas J, H e K, estas últimas para o estudo da população estelar e avermelhamento por poeira. O estudo morfológico nas linhas visa determinar o mecanismo que as origina.

Estudos espectroscópicos anteriores e modelos teóricos sugerem que o $[\text{Fe II}]$ está associado com jatos de matéria observados em ondas de rádio (ou simplesmente jatos rádio), regiões de formação estelar e cones de ionização. Encontramos para cinco galáxias da amostra, morfologias aproximadamente cônicas associadas a regiões de gás ionizado onde se encontram, também, cones ou bicones em $[\text{O III}]$ e/ou $\text{H}\alpha$ e/ou rádio em 6 cm. Estes resultados estão em excelente acordo com as previsões do Modelo Unificado, tanto no que se refere aos mecanismos de colimação como no que se refere aos processos envolvidos na formação do cone de ionização.

Uma das proposições do Modelo Unificado para explicar a colimação da radiação nuclear e o obscurecimento da fonte de radiação é a de um toro molecular, rico em poeira que circunda o AGN (Active Galactic Nucleus). Se tal toro existir o Modelo prevê que ele deve emitir H_2 , portanto um importante teste seria procurar por emissão de H_2 não resolvida ou estendida perpendicularmente ao cone ou jato rádio. Encontramos emissão H_2 não resolvida em um caroço, que poderia indicar emissão por um toro não resolvido. Nos demais casos em que a emissão é estendida não se pode concluir que seja devida ao toro por que apresenta orientação diferente da esperada, sendo que em um caso ela delinea uma bolha soprada por super-ventos de um *starburst* nuclear.

Construímos diagramas J–H *versus* H–K e J–K como função da distância ao núcleo para estudar a população estelar quanto às contribuições de população de bojo, populações jovens e quanto ao conteúdo de poeira da região nuclear. Encontramos evidências conclusivas de contribuição de radiação de corpo negro devido à poeira em 2 casos, em que as cores nucleares indicam a contribuição de um corpo negro de temperatura $\sim 1000 \text{ K}$, que é aproximadamente a temperatura prevista do toro. Encontra-se também a contribuição de estrelas jovens e/ou de idade intermediária em 4 galáxias. Imagens na cor J–K permitiram um mapeamento da poeira em grande escala.

Apresentamos, também, conclusões e sugestões referentes ao processo de imageamento/redução no sentido de melhorar a qualidade das imagens finais.

Abstract

This work presents a morphological analysis of the central region of eight Seyfert galaxies in the infrared in both line emission and continuum. We studied images in [Fe II] λ 1.257 μm , [Fe II] λ 1.644 μm and/or H₂ λ 2.122 μm lines as well as J, H and K band continuum images, the latter ones to study the stellar population and dust absorption. The morphological study in the emission lines was done in order to investigate the mechanism producing these lines.

Previous spectroscopic studies and theoretical models suggest that [Fe II] emission is associated with radio jets, star forming regions and ionization cones. In five out of six objects of our sample for which we obtained [Fe II] images, we found elongated structures associated with ionized gas regions traced by [O III], H α and radio 6-cm emission with conical and biconical morphology. These results are in excellent agreement with the Unified Model predictions concerning the collimation process and gas ionization in the conical structure.

In the Unified Model, the collimation of the radiation and obscuration of the central source is produced by a dusty molecular torus surrounding the nuclear engine. If this is true we should observe H₂ emission from such a torus either unresolved or extended perpendicular to the cone or radio jet. In one galaxy we found unresolved H₂ emission, while in the remaining five galaxies for which we have H₂ images, we found extended emission we could not conclude was only emitted by the torus because the extent is not in the expected direction. We also found that one of the galaxies shows extended H₂ emission in a cavity inflated by starburst winds.

We constructed J–H and H–K diagrams and graphs of J–K colors *versus* distance from the nucleus to study the dust content in the nuclear region and the age of the stellar population. We found conclusive evidences of the contribution of dust black body radiation in the nucleus of two galaxies with colors compatible with emission from dust with temperature $T \sim 1000$ K (this is the temperature predicted by torus models). We have also found young/intermediate age stellar population contribution in the nuclear region of four galaxies. The large scale dust distribution was mapped by J–K images.

Conclusions and proposals concerning the imaging and reduction process in order to achieve better image quality have also been presented.

Capítulo 1

Introdução

Em 1908, o primeiro espectro de uma galáxia com núcleo ativo (AGN: active galactic nuclei) foi registrado mas foi só em 1943 que Carl Seyfert se deu conta que certas galáxias se distinguem das normais. Uma das características incomuns era seu alto brilho nuclear compatível com uma produção de energia tão alta quanto a energia produzida no resto da galáxia. Essas galáxias tomaram o nome de seu descobridor, Seyfert, sendo, também conhecidas como galáxias ativas.

Uma das teorias desenvolvidas para explicar a fonte de tanta energia propõe que no núcleo dessas galáxias existe um buraco negro super-massivo ($\sim 10^7 M_{\odot}$; M_{\odot} : massa solar) que, devido ao seu forte campo gravitacional, desagrega e acelera a matéria circundante para seu interior através de um disco de acreção de matéria. Esse processo transforma energia gravitacional em energia luminosa por dissipação devida à viscosidade do disco (Peterson 1997; Krolik 1999). A radiação assim criada ioniza o meio circundante produzindo linhas de emissão com larguras da ordem de $\gtrsim 10^3 \text{ km s}^{-1}$, mais largas do que as linhas formadas em núcleos de galáxias normais ou regiões H II com larguras da ordem de $\lesssim 10^2 \text{ km s}^{-1}$. Porém nem todas as galáxias Seyfert emitem linhas largas. As galáxias que emitem linhas largas apresentam, em seus espectros, um contínuo do tipo lei de potência ao passo que as galáxias Seyfert em que não vemos as linhas largas, o contínuo é menos brilhante apesar de ainda ser dominado por um contínuo lei de potência. Essas diferenças levaram a uma subdivisão na classificação das galáxias Seyfert em galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2, sendo que as de tipo 1 mostram as linhas largas e as de tipo 2 apresentam somente linhas estreitas.

Antonucci (1993) propõe o Modelo Unificado em que essa diferença nas galáxias Seyfert é explicada pela diferença na orientação do AGN em relação ao observador. O Modelo Unificado propõe que o buraco negro seja circundado por um disco que serve como fonte de matéria para o processo de acreção e tal disco é, por sua vez, circundado por um toro molecular que faz o papel de agente colimador devido ao grande obscurecimento causado à radiação que nele incide. Nesse modelo a região onde são produzidas as linhas largas ou BLR (Broad Line Region) se encontra circundado pelo toro. O toro, segundo o modelo, é o responsável pelo obscurecimento da região onde são produzidas as linhas largas e portanto, em galáxias em que nossa direção de observação é tal que não recebemos luz direta da BLR, somente enxergamos a região produtora de linhas estreitas NLR (Narrow Line Region) que, por ser mais estendida, não sofre o obscurecimento do toro.

O imageamento em bandas estreitas tem sido uma ferramenta importante na investigação da estrutura, excitação e mecanismos de colimação das regiões nucleares de galáxias Seyfert próximas, onde a região de linhas estreitas (NLR) ou região de linhas estreitas estendida (ENLR) são resolvidas (ver Wilson 1997, para uma revisão). Além disso, muito do estudo usando imagens da NLR tem se concentrado nas linhas óticas [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007$ e $\text{H}\alpha + [\text{N II}]\lambda\lambda 6548, 6584$ e estas imagens, recentemente obtidas pelo telescópio espacial Hubble (HST), estão entre os resultados mais estimulantes das pesquisas em AGN's. Tais imagens mostram cones que se estendem a várias

dezenas de parsecs a partir do núcleo de galáxias Seyfert 2 como nos casos de NGC 1068 (Evans et al. 1991), NGC 4151 (Evans et al. 1993), NGC 5728 (Wilson et al. 1993) e Mrk 3 (Capetti et al. 1996). Schmitt & Kinney (1996) apresentam uma coleção de imagens [O III] de galáxias Seyfert 1 e 2, obtidas com o HST, que mostram também esse tipo de estrutura.

Em particular, as imagens óticas do HST mostram algumas vezes filamentos e estruturas que se assemelham a casulos ao redor dos jatos rádio como em Mrk 3, Mrk 1066 e Mrk 573 (Capetti et al. 1995, 1996; Bower et al. 1995; Pogge 1995). Combinando estes resultados com o de trabalhos de espectroscopia realizados também com o HST (Winge et al. 1997; Axon et al. 1998) conclui-se que, pelo menos nesses objetos, a morfologia e a cinemática são determinadas pelas interações entre o material radioemissor nuclear ejetado e o gás do ambiente.

Trabalhos de imageamento em linhas estreitas como os descritos acima existem em grande número na banda ótica do espectro onde o efeito do obscurecimento por poeira circunuclear é muito grande podendo mascarar, inclusive, a verdadeira morfologia das estruturas. Com a crescente melhora tecnológica de detectores e imageadores no infravermelho pôde-se recentemente iniciar trabalhos de imageamento nesta banda onde o obscurecimento é bem menor e a resolução espacial é maior que na banda ótica. Decidimos então iniciar um trabalho de imageamento de galáxias Seyfert em linhas de emissão presentes nas bandas J, H e K do infravermelho próximo.

Trabalhos anteriores no infravermelho consistem essencialmente de estudos espectroscópicos (por exemplo Veilleux et al. 1997; Storchi-Bergmann et al. 1999; Winge et al. 2000) que revelam que as galáxias Seyfert possuem linhas de emissão intensas de [Fe II], Pa β , H₂ entre outras.

Sabe-se que a emissão [Fe II] intensa (Mouri et al. 2000) é traçadora de choques em remanescentes de supernovas e em processos de ejeção de matéria devidos a populações estelares jovens. Portanto, nas regiões de formação estelar deve-se encontrar emissão de [Fe II] intensa (Graham, Wright, & Longmore 1990). Nos AGN's a emissão [Fe II] tem sido encontrado associado aos jatos rádio (Axon et al. 1998) devido a interação destes com o gás do ambiente circundante. Além do efeito de choques, a radiação X, devido a sua pequena seção de choque, pode criar nos AGN's (onde a radiação X é bastante intensa) zonas parcialmente ionizadas extensas de onde se originaria emissão [Fe II]. Se isso for verdade, espera-se encontrar emissão de [Fe II] espacialmente correlacionada com jatos rádio e o feixe de radiação ionizante emitido pelo núcleo ativo. Isto foi de fato encontrado em dois trabalhos em que imagens em [Fe II] de NGC 1068 (Blietz et al. 1994) e IC 5063 (Kulkarni et al. 1997) mostraram estruturas alinhadas com a emissão rádio e cones de ionização em [O III].

Dentro do Modelo Unificado (Antonucci 1993) a radiação nuclear é colimada por um toro molecular rico em poeira que dá origem ao obscurecimento da fonte central e aos cones de ionização observados em [O III] descritos acima nas galáxias Seyfert 2. Este Modelo advoga que essas galáxias são idênticas às galáxias Seyfert 1, onde podemos observar a fonte central, a única diferença sendo a orientação da galáxia em relação ao observador que impede a visualização direta da fonte central nas Seyfert 2.

Se um toro molecular estiver presente deveríamos observar emissão de gás molecular quente proveniente do toro, como por exemplo a emissão de H₂. De fato, Blietz et al. (1994) encontram emissão estendida de H₂ em NGC 1068 aproximadamente perpendicular ao cone de [O III] consistente com o que seria esperado se o toro fosse sua origem. Mais recentemente, Quillen et al. (2000) encontraram estruturas de H₂ estendidas porém nem sempre perpendicularmente aos cones de fotoionização, indicando que existe H₂ na região central das galáxias Seyfert não só associada ao toro mas também aos próprios cones.

Outra maneira de procurar por toros é estudar o gradiente de cor (razão entre diferentes bandas de contínuo) entre a região nuclear e suas vizinhanças. Sendo rico em poeira, o toro deve estar associado a regiões vermelhas dos mapas de cor devido ao grande obscurecimento por ele causado. De fato usando bandas óticas encontrou-se cores mais vermelhas em direção ao vértice do cone em NGC 3281 (Storchi-Bergmann, Wilson & Baldwin 1992), NGC 5728 (Wilson et al. 1993) e

NGC 5643 (Simpson et al. 1996). Entretanto devido à grande absorção sofrida pelas bandas óticas, tais estruturas podem ser devidas à poeira no disco da galáxia. Imagens em bandas do infravermelho próximo sofrem menor absorção e portanto podem ser usadas para procurar por estruturas ricas em poeira a maior profundidade. Simpson et al. (1996) encontraram em um mapa J–K uma estrutura vermelha, perpendicular à distribuição de gás de alta excitação, a qual foi interpretada como devida às partes externas do toro.

No presente trabalho selecionamos uma amostra de 8 galáxias Seyfert com emissão de gás anisotrópica estendida na região ótica – em particular algumas com cones de ionização para imageá-las em [Fe II] e H₂ com o objetivo de investigar a origem da emissão dentro do cenário descrito acima.

Um primeiro resultado de nosso estudo já foi publicado sobre a galáxia Circinus (Wilson et al. 2000), onde encontramos que o [Fe II] se encontra associado com um anel de formação estelar originado, provavelmente, por choques produzidos por remanescentes de supernovas.

Além disso, as galáxias foram também imageadas no contínuo, nas bandas J, H e K para estudar sua distribuição de brilho, população estelar, avermelhamento, possível contribuição da emissão de poeira do toro à radiação nuclear e estruturas nucleares vermelhas associadas ao toro.

Capítulo 2

Amostra

A amostra consiste de 8 galáxias Sy 1, Sy 2 ou de tipo intermediário próximas, conhecidas por apresentarem emissão estendida de gás ionizado no ótico de forma anisotrópica, em vários casos sob a forma de cone.

Na tabela 2.1 apresentamos para cada uma das galáxias a ascensão reta, declinação, a classificação morfológica, a classificação quanto a atividade nuclear, o redshift z e a extinção galáctica.

Objeto	A.R. (J2000.0)	Dec. (J2000.0)	Classificação	Atividade	z ($\times 10^{-2}$)	A_V	A_J	A_H	A_K	Escala pc/''
<i>1^o Turno</i>										
NGC 4388	12 25 46.75	12 39 43.51	SA(s)b: sp	Sy2	0.842	0.110	0.030	0.019	0.012	96
NGC 4945	13 05 27.48	-49 28 05.57	SB(s)cd: sp	Sy2	0.187	0.585	0.159	0.102	0.065	18
<i>2^o Turno</i>										
NGC 1566	04 20 00.64	-54 56 17.00	(R' ₁)SAB(rs)bc	Sy1	0.499	0.030	0.008	0.005	0.003	83
ESO 428-G14	07 16 31.20	-29 19 29.00	SA:(l)0 ⁺	Sy2	0.544	0.654	0.178	0.114	0.072	92
NGC 3227	10 23 30.60	19 51 54.00	SAB(s) pec	Sy1.5	0.386	0.075	0.020	0.013	0.008	76
NGC 3393	10 48 23.39	-25 09 42.80	(R')SB(s)ab	Sy2	1.251	0.249	0.068	0.043	0.028	240
NGC 5252	13 38 15.96	04 47 47.08	S0	Sy1.9	2.307	0.111	0.030	0.019	0.012	450
NGC 5506	14 13 14.87	-03 12 26.95	Sa pec sp	Sy1.9	0.618	0.197	0.054	0.034	0.022	113

Tabela 2.1: Informações básicas das galáxias da amostra.

2.1 NGC 4388

A galáxia NGC 4388 distante 19.7 Mpc (Sandage & Tammann 1984) é um membro do núcleo do aglomerado de Virgo (Phillips & Malin 1982, a partir deste ponto PM), sua inclinação em relação ao plano do céu é de 75° (Hummel et al. 1983).

Com base em espectros de emissão óticos PM classificaram esta galáxia como Sy 2. Filippenko & Sargent (1985) detectaram a linha $H\alpha$ alargada indicando uma fraca atividade Sy 1. Após, Shields & Filippenko (1988) mostraram que a linha larga $H\alpha$ ($FWZI \sim 4000 \text{ km s}^{-1}$) também está presente em espectros fora do núcleo sugerindo que esta componente larga seja proveniente de espalhamento da emissão do núcleo obscurecido da NGC 4388, similarmente ao caso da NGC 1068 descoberto por Antonucci & Miller (1985).

Observações com o IUE (Ferland & Osterbrock 1986) mostram uma fonte de contínuo azul concentrada em uma região de $2''$ ao redor do núcleo. Hanson et al. (1990), usando o telescópio de raios-X da Universidade de Birmingham, detectaram a galáxia NGC 4388 como a fonte mais forte do aglomerado de Virgo com uma luminosidade $L_X(2 - 10\text{keV}) = 10^{42.0} \text{ erg s}^{-1}$.

Espectroscopia óptica de alta resolução (Heckman et al. 1983) encontrou a presença de um perfil assimétrico (para o vermelho) em [O III] que foi interpretado como a combinação de nuvens de gás independentes com diferentes condições físicas e cinemáticas (Colina et al. 1992 e suas

referências). Pogge (1988) detectou a presença de regiões de linhas de emissão estendidas de alta excitação acima do plano galáctico com uma geometria tipo cone e Corbin, Baldwin & Wilson (1988) mediram velocidades de algumas destas nuvens de gás de alta excitação e encontraram discrepância significativa em relação ao campo de velocidades da galáxia. Eles interpretaram estes resultados como evidências de que gás esteja sendo ejetado da região central da galáxia.

A NGC 4388 foi detectada como uma fonte IRAS tendo uma luminosidade no infravermelho distante de $L_{FIR} = 10^{43.43}$ erg s⁻¹. Observações rádio mostraram uma estrutura composta de um disco com uma extensão acima e perpendicular ao disco (Hummel, van Gorkom, & Kotanyi 1983). Posteriormente, observações do núcleo com o VLA revelaram uma estrutura rádio estendida a um ângulo de posição $\sim 20^\circ$ e dois picos de emissão separados por $2''$ (Stone, Wilson & Ward 1988, Saikia & Hummel 1989) e próximos mas não coincidentes com o núcleo ótico (Stone et al. 1988). Esta separação entre os núcleos rádio e ótico sugere que o verdadeiro núcleo possa estar obscurecido.

2.2 NGC 4945

A 3.7 Mpc de distância a NGC 4945 é um dos membros do grupo Centaurus e uma das galáxias ativas mais próximas. Sua emissão nuclear mostra traços claros de um *starburst* nuclear (Koornneef 1993, Moorwood & Oliva 1994). Se mostra aproximadamente *edge-on* com inclinação em relação ao plano do céu $i \sim 80^\circ$. A única evidência de sua atividade nuclear vem dos raios-X duros em que seu status é o de uma das mais brilhantes fontes de raios-X em 100 keV dentre as fontes extragalácticas (Done et al. 1996). Seu espectro caracterizado como *Compton-thick* (com uma densidade de coluna de $N_H = 5 \times 10^{24}$ cm⁻², Iwasawa et al. 1993) foi recentemente estudado com o BeppoSAX que detectou variabilidade na faixa 13-200 keV (Guainazzi et al. 2000). Sua luminosidade IRAS total é $\sim 2.4 \times 10^{10} L_\odot$ (Rice et al. 1988). Suas taxas de formação estelar e formação de supernovas são moderadas ($\sim 0.4 M_\odot$ ano⁻¹ e ~ 0.05 ano⁻¹, Moorwood & Oliva 1994), o *starburst* é concentrado nos 100 pc centrais e a conseqüência é uma região circunuclear com uma cavidade cônica soprada por ventos criados pelas supernovas (Moorwood et al. 1996).

A emissão rádio é caracterizada por um caroço compacto não térmico (Elmoultie et al. 1997). Suas fontes megamaser de H₂O e OH estão entre as primeiras que foram detectadas (dos Santos & Lepine 1979, Baan 1985). Greenhill et al. (1997) em observações de alta resolução angular encontraram emissão distribuída linearmente ao longo da PA do disco galáctico com padrão de velocidades sugerindo a presença de um buraco negro com massa $\sim 10^6 M_\odot$. Mapas de CO ($J = 3 - 2$) de Mauersberger et al. (1996) mostram uma maior concentração dentro de uma região nuclear de ~ 200 pc.

2.3 NGC 3227

A galáxia NGC 3227 encontra-se em interação com a galáxia NGC 3226 (tipo S0) que está a 2.2 minutos de arco NW. Sua distância é de 15.6 Mpc, está inclinada 56° em relação ao plano do céu e seu eixo maior está a PA de 158° (Mundell et al. 1995b). Osterbrock & Martel (1993) tentativamente classificaram-na como Sy 1.5 embora Salamanca et al. (1994) tenha detectado um contínuo ótico e uma BLR sugerindo que esta galáxia seja uma Sy 1. Usando espectroscopia de fenda longa, as linhas de emissão no ótico (Rubin & Ford 1968) mostram evidências de ejeção de gás a partir do núcleo. Mundell et al. (1995b) encontraram emissão de hidrogênio neutro em grande escala se estendendo na direção e além da galáxia NGC 3226. Mundell et al. (1995a) encontraram

gás fotoionizado altamente excitado na região nuclear da NGC 3227 se estendendo em forma de cunha a 500 pc num PA $\sim 30^\circ$ sugerindo a existência de um processo de colimação. Encontraram também duas componentes de emissão rádio separadas por $0''.4$ em PA $\sim -10^\circ$ mostrando que o gás excitado não está alinhado com a estrutura rádio. Usando imageamento de alta resolução em CO (J=1-0) Meixner et al. (1990) encontraram dois picos não resolvidos distantes $2''$ um do outro na direção leste-oeste. Mundell et al. (1995b) encontraram uma barra de HI que parece ser uma continuação da barra de CO. A região nuclear apresenta emissão em H₂ (Fischer et al. 1987, Kawara et al. 1990 e Fernandez et al. 1999). Fischer et al. (1987) estimaram, usando uma abertura circular de $5''.4$, uma FWHM de 325 km s^{-1} , muito baixa para estar associada com a BLR podendo, portanto, estar associada a um toro molecular.

2.4 ESO 428-G14

A galáxia ESO 428-G14 foi inicialmente classificada como uma nebulosa planetária (M4-1) mas, Bergvall, Johansson & Olofsson (1986) mostraram que ela é uma galáxia Sy 2 típica. A galáxia é classificada morfologicamente como SA0⁺. O redshift é 0.00544 e, portanto, $1''$ corresponde a 92 pc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$) usando o padrão galáctico de velocidade de repouso de de Vaucouleurs et al. (1992). Em mapas de alta resolução do VLA a galáxia mostra, aparentemente, um jato rádio de um lobo apenas (Ulvestad & Wilson 1989). Wilson & Baldwin (1989) encontraram que o gás ionizado, imageado em [O III] e H α + [N II], está alongado na direção do jato rádio. A linha de emissão [O III] tem uma assimetria estendida para o vermelho a NW e uma assimetria estendida para o azul a SE.

2.5 NGC 5252

Esta é uma galáxia S0 inclinada com $b/a = 0.37$ (Kirhakos & Steiner 1990), tendo, portanto inclinação $i = 68^\circ$ do plano do céu. Possui uma magnitude visual absoluta $M_V = -21.4$ (Unger et al. 1987) e uma luminosidade IR de $3 \times 10^{10} L_\odot$. Seu núcleo Sy 2 ilumina uma estrutura bicônica de gás ionizado que se estende a 35 kpc e seu eixo aproximadamente coincide com o eixo rádio em PA=170° (Unger et al. 1987; Tadhunter & Tsvetanov 1989).

Descobriu-se HI neutro preenchendo as regiões fora do bicone de gás ionizado (Prieto & Freudling 1993), uma prova convincente do obscurecimento direcional do campo de radiação nuclear.

2.6 NGC 1566

A galáxia NGC 1566 é um dos principais membros do grupo de galáxias Dorado (de Vaucouleurs 1975). Estudos de fotometria superficial (de Vaucouleurs 1973), distribuição de gás ionizado (Comte & Duquenois 1982) e mapas infravermelho (Hackwell & Schweizer 1983, Baumgart & Peterson 1986) indicam que a estrutura em grande escala consiste em um padrão espiral duplo de dois braços sendo que o mais interno deles é originado na barra com uma contribuição significativa de associações OB jovens (Hackwell & Schweizer 1983). A cinemática de larga escala da NGC 1566 foi estudada por Pence et al. (1990). Os raios das ressonâncias principais do sistema espiral foram determinados por Elmegreen & Elmegreen (1990) investigando a morfologia ótica. Observações do contínuo rádio mostraram que este se estende pelo núcleo e disco (Harnett 1984, 1987). A galáxia NGC 1566 também foi observada na linha de HI por Reif et al. (1982) e Bajaja (1979).

Sua distância é 17.2 Mpc ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$; Pence et al. 1990) e, portanto, a escala projetada na imagem é de $83 \text{ pc}''$.

Morganti et al. 1999 encontraram uma possível componente de emissão rádio $3''$ ao norte do máximo central. Observações com o interferômetro Parkes-Tidbinbilla em 13 cm (Roy et al. 1994 e Sadler et al. 1995) registraram um fluxo de 5 mJy.

Usando imagens da WF/PC 1 na linha do [O III] $\lambda 0.5007 \mu\text{m}$, Kriss et al. (1990) encontraram uma imagem puntiforme, tendo uma extensão máxima de $0.7''$ (59 pc).

2.7 NGC 3393

A NGC 3393 é uma galáxia com $z=0.0125$, $D=50 \text{ Mpc}$ e $m_B = 13.1$ (de Vaucouleurs et al. 1991) localizada na periferia do aglomerado Hydra. É uma galáxia tipo SBa(rs) vista quase face-on, cobrindo aproximadamente 1 minuto de arco no céu.

Usando uma combinação de espectros óticos e IUE, Diaz, Prieto & Wamasteker (1988), investigaram o fluxo integrado da região nuclear. Usando o modo de baixa resolução do IUE e sua abertura maior ($20'' \times 10''$), eles detectaram uma fonte de contínuo plano e intenso em UV ($F_\lambda \approx 1.7 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$) e um espectro rico em linhas de emissão.

A NGC 3393 é uma fonte IRAS “quente” (Boisson & Durret 1986) indicando a presença de poeira quente. Novos espectros IUE foram extraídos por Kinney et al. (1993). Observações rádio foram feitas por Roy et al. (1994).

Cooke et al. (2000) encontraram uma estrutura bicônica em [O III] $\lambda 5007 / (\text{H}\alpha + [\text{N II}] \lambda \lambda 6548, 6584)$ ao longo de $\text{PA} \sim 44^\circ$.

2.8 NGC 5506

NGC 5506 é uma galáxia aproximadamente edge-on a $z = 0.006$ (Thuan & Wadiak 1982). Ela tem características de Sy 1 e Sy 2: suas linhas permitidas óticas tem larguras características de Sy 2 ($\text{FWHM} \sim 400 \text{ km s}^{-1}$) mas sua luminosidade em raios-X é muito maior do que a observada em Sy 2 típicas ($L_{2-10\text{keV}} \approx 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$; Reichert et al. 1985). As linhas de hidrogênio do infravermelho próximo tem asas mais largas que as encontradas no ótico (Rix et al. 1990, Blanco et al. 1990), indicando uma região de linhas largas obscurecida. Além dessas características Morris & Ward (1985) detectaram a emissão da linha de Bowen excitada por fluorescência [O I] $\lambda 0.8446 \mu\text{m}$ típica de Sy 1.

Durret & Bergeron (1988) obtiveram $E_{B-V} = 0.52 \text{ mag}$ (ou seja $A_V = 1.6 \text{ mag}$) na região nuclear a partir da razão de linhas espectrais. Do espectro de raios-X Pounds et al. (1989) encontrou um valor muito maior de extinção: o espectro, caracterizado por uma lei de potência de índice espectral $\alpha \simeq -0.76$, tem um *cutoff* abaixo de 2 keV e portanto infere-se $A_V = 13.5$ (usando a razão gás/poeira Galáctica).

Kinney et al. (1991) comparando a emissão das linhas de hidrogênio no ótico com a emissão UV observada concluíram que a emissão UV está abaixo do previsto por um fator de 20.

Mapas rádio usando o VLA mostraram uma fonte compacta não resolvida ($< 0.3''$) circundada por uma componente difusa ($\sim 3'' - 4''$) sem evidências de jato rádio bem definido (Unger et al. 1986, Wehrle & Morris 1987).

Wilson et al. (1985), estudando a cinemática da NLR notaram que a linha de emissão [O III] $\lambda 5007$ possui duplo pico em parte da NLR. Eles interpretaram o duplo pico como sendo devido à gás fluindo desde a região central através de dois cones com uma velocidade de 320 km s^{-1} e uma

abertura de 90° . O eixo do cone está inclinado a um ângulo de 55° em relação à linha de visada e aparentemente a sua projeção no plano do céu está alinhada com o eixo menor da galáxia.

Capítulo 3

Aquisição e redução de dados

3.1 Observações

Obtivemos imagens das galáxias da amostra nas bandas J, H, K e Ks (o filtro Ks é um pouco mais estreito e tem seu comprimento de onda central um pouco menor que o filtro K) e em bandas estreitas centradas nas linhas de emissão do [Fe II] $\lambda 1.644 \mu\text{m}$, [Fe II] $\lambda 1.257 \mu\text{m}$, H₂ $\lambda 2.122 \mu\text{m}$, Br γ $\lambda 2.166 \mu\text{m}$.

As observações foram feitas no CTIO (Cerro Tololo Interamerican Observatory) nas noites de 22/05/1999, 24-26/05/1999 (turno de 1999) e 14-17/02/2000 (turno de 2000) usando o telescópio Blanco de 4 m. No turno de 1999 foi usado o instrumento CIRIM com um detector de HgCdTe 256×256 pixels, escala de $0.21''/\text{pixel}$ e no turno de 2000 usou-se o instrumento OSIRIS com um detector de HgCdTe 1024×1024 pixels, escala $0.161''/\text{pixel}$. Neste último detector apenas uma região de 636×589 pixels foi exposta. Na tabela 3.1 apresentamos o registro das observações dos dois turnos.

Foram feitas diversas exposições do mesmo objeto no mesmo filtro com alguns segundos de arco de deslocamento entre elas para, após combinadas, minimizar efeitos remanescentes de diferença na resposta pixel-a-pixel ou de pixels defeituosos.

Devido a grande extensão das galáxias no campo do detector, em alguns casos foram feitas observações de céu a alguns minutos de arco do objeto para eliminar a corrente de escuro, o bias e a luz do céu. Em alguns casos foi utilizado o sistema A-B-B-A (objeto - céu - céu - objeto) e em outros casos foram observados alguns frames de céu em seqüência, antes e/ou após o objeto.

3.2 Reduções

Usamos os pacotes do software IRAF¹ bem como o pacote GEMINI² para a redução das observações que consistiram dos seguintes passos:

1. **Eliminação de pixels defeituosos.** O detector montado na câmara CIRIM possui muitos pixels defeituosos cujos valores foram substituídos em todas as imagens por médias dos valores dos pixels vizinhos. Os pixels defeituosos foram evidenciados combinando algumas imagens de *flat* e céu. Nesta imagem combinada, as contagens dos pixels defeituosos estavam ou bem acima ou bem abaixo do valor médio ao redor do qual se distribuem os valores de

¹*Image Reduction and Analysis Facility* sob suporte do NOAO (*National Optical Astronomy Observatories*).

²Pacote IRAF criado e mantido pelo projeto Gemini

contagens dos pixels bons sendo, portanto, fácil marcá-los para criar a máscara usada na substituição dos pixels defeituosos.

2. **Correção por *flat-field*.** Corrigimos pela variação na sensibilidade pixel-a-pixel do CCD (*flat-fielding*) usando imagens de *flat-field*. As imagens de *flat-field* foram construídas subtraindo em cada filtro uma imagem em que o detector não foi exposto a nenhuma fonte de luz (*flat_{off}*) da imagem obtida pela exposição do detector a um anteparo uniformemente iluminado com luz branca (*flat_{on}*). Essa subtração cria uma imagem de *flat-field* já corrigida por corrente de escuro e bias (ruído eletrônico). Dividindo a imagem inteira pelo valor da mediana da distribuição de valores dos pixels (*median*) obtemos o *flat-field* final (normalizado):

$$flat = \frac{flat_{on} - flat_{off}}{median} \quad (3.1)$$

Todas as imagens foram divididas por este *flat-field* para correção pelas variações pixel-a-pixel.

3. **Subtração de céu e *dark/bias*.** No decorrer dos turnos de observação optou-se por não fazer frames de céu para algumas das galáxias pois seria possível estimar o céu a partir de regiões do frame sem emissão da galáxia e, com isso, ganhar algum tempo para observar outros objetos. Entretanto o frame de céu tem aplicações adicionais: além de eliminar a contribuição de luz do céu ele é usado para eliminar o bias e a corrente de escuro (*dark*) desde que o tempo de exposição do céu tenha o mesmo tempo de exposição do objeto. O *dark* é ruído térmico que apresenta contagens diferentes ao longo dos diversos pixels do frame. Tais contagens assim como sua dispersão de valores crescem com o tempo. *Bias* é o ruído não escalonável com o tempo. No caso das galáxias para as quais observamos imagens de céu, este foi subtraído, eliminando assim as contagens de céu, *dark* e *bias*. Nas galáxias em que tivemos que subtrair uma constante estimada a partir das regiões de céu do frame, sobrou o padrão do *dark* e *bias* fazendo a relação sinal/ruído desses frames diminuir.
4. **Alinhamento e combinação das imagens.** Procuramos usar todas fontes puntiformes dos frames como referência para o alinhamento das imagens de um mesmo filtro como estrelas do campo e o núcleo das galáxias. Em alguns objetos somente o núcleo pôde ser utilizado devido à ausência de estrelas de campo. Em todos os alinhamentos a incerteza foi menor do que 0.1 pixel. As imagens foram combinadas usando o algoritmo `avsigclip`³ do pacote `imcombine` do IRAF.

Para as galáxias NGC 5252, ESO 428-G14, NGC 1566, NGC 3393 e NGC 5506 usamos a *task imcoadd* do pacote GEMINI do IRAF para fazer o mapeamento, alinhamento e coadição das imagens. O uso de tal pacote representou um melhoramento considerável na etapa de alinhamento em comparação com os procedimentos descritos no parágrafo anterior executados manualmente (um-a-um).

5. **Construção das imagens nas linhas de emissão** Após calibradas (ver próxima seção) as imagens nas linhas de emissão foram construídas fazendo a diferença entre as imagens em filtros centrados nas linha de emissão (largura aproximadamente 1% do λ central) e as imagens em filtros centrados em uma região próxima do contínuo (também de largura 1%), quando disponíveis. Em algumas galáxias as larguras dos filtros usados na linha e no contínuo foram diferentes (por falta de filtros estreitos no contínuo). Essa diferença implica,

³No cálculo da média de cada pixel, este algoritmo permite excluir do cálculo alguns pixels (em geral 1 ou 2 pixels) com valor acima e abaixo de um certo número de desvios padrão.

também, em diferentes tempos de exposição que por sua vez implica em diferentes valores de seeing. Verificamos que quanto maior o tempo de exposição, maior o seeing e, também, menos circular a PSF (aqui entram em jogo efeitos causados pelo vento e má guiagem do telescópio que é crítica quando o céu é muito alto, dificultando a atuação de softwares de guiagem). Não levar em consideração as diferenças de seeing implica em perder informação de estruturas com dimensões da ordem de alguns segundos de arco. Mesmo já tendo subtraído o céu (constante ou real) de todos os frames tomamos o cuidado de medir e subtrair algum possível céu residual da subtração.

Para corrigir por efeitos de seeing, nas galáxias em que existem estrelas de campo medimos o seeing e degradamos a imagem com a PSF mais estreita com uma gaussiana capaz de igualar as PSF's das imagens. Usamos, também, as estrelas de campo para escalonar o contínuo antes de subtraí-lo nas galáxias em que não conhecemos ou não confiamos na calibração.

Na galáxia NGC 3227 em que não existem estrelas de campo usamos um método que apesar de muito simples se mostrou poderoso para encontrar o escalonamento correto e estimar a correta degradação de seeing a ser aplicada na construção da imagem na linha [Fe II]. O método (gráficos e mais detalhes na seção 4.1.1) consiste em plotar, pixel-a-pixel, (e apenas pixels da região com sinal-ruído alto) as contagens do frame de linha+contínuo ($1.257 \mu\text{m}$) contra as contagens do frame de contínuo ($1.06 \mu\text{m}$). Se o contínuo já estiver bem escalonado e os seeings das duas imagens forem iguais, os valores dos pixels da imagem da linha+contínuo serão maiores ou iguais aos valores dos pixels da imagem do contínuo e o que veremos será uma distribuição de pontos com ordenadas acima ou sobre uma reta envoltória $y(\text{linha+contínuo})=x(\text{contínuo})$. Num gráfico típico o contínuo não está bem escalonado e as PSF's não são iguais. Nesse gráfico as contagens mais baixas formam uma reta com declividade $\alpha \neq 1$ pois as contagens mais baixas do frame linha+contínuo correspondem a regiões onde não se espera que exista emissão de linha e tais contagens são proporcionais as contagens também baixas no frame do contínuo via uma constante de proporcionalidade (obviamente esta é a constante α). As diferenças nos seeings aparecem nas contagens altas (pixels próximos do núcleo). Se o seeing da imagem de contínuo for melhor que o seeing da imagem de linha+contínuo (o que é mais freqüente devido ao menor tempo de exposição no contínuo) o primeiro terá, a PSF do núcleo e de outras estruturas puntiformes, mais estreita e com o pico mais alto do que as correspondentes PSF's dessas estruturas na imagem de linha+contínuo. Esse efeito causa um espalhamento e uma curvatura da região de altas contagens do gráfico para baixo da linha $y = \alpha x$. (ver gráfico da figura 4.6) A correção é feita escalonando o contínuo pelo fator α e então convoluindo o contínuo com uma gaussiana (o mais estreita possível) que elimina a curvatura da região de altas contagens fazendo todos os pontos do gráfico ficar sobre ou acima da linha $y = x$ e com menor dispersão na região de altas contagens (fig 4.7).

Mesmo realizando os procedimentos descritos neste ítem, em muitas galáxias restou um ruído devido a pequenas diferenças na PSF. Por isso, nas figuras contendo imagens resultantes de subtrações desenhamos um círculo que delimita a zona mais afetada por este efeito.

3.3 Calibração

3.3.1 Contínuo

A calibração das imagens em cada banda $X=J, H, K$ foi feita através da determinação dos parâmetros $m_{0,X}$ (ponto zero de magnitude da banda X), C_X (coeficiente de cor da banda X) e k_X (coeficiente de extinção atmosférica na banda X) tais que, em cada banda, satisfaçam a um sistema de pelo menos três equações estabelecido usando observações de pelo menos três estrelas padrão a, b e c em bandas J, H e K :

$$\begin{aligned} J_a &= m_{0,J} - k_J x_{J,a} + C_J(J - K)_a - 2.5 \log(F_{J,a}) \\ J_b &= m_{0,J} - k_J x_{J,b} + C_J(J - K)_b - 2.5 \log(F_{J,b}) \\ J_c &= m_{0,J} - k_J x_{J,c} + C_J(J - K)_c - 2.5 \log(F_{J,c}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} H_a &= m_{0,H} - k_H x_{H,a} + C_H(J - K)_a - 2.5 \log(F_{H,a}) \\ H_b &= m_{0,H} - k_H x_{H,b} + C_H(J - K)_b - 2.5 \log(F_{H,b}) \\ H_c &= m_{0,H} - k_H x_{H,c} + C_H(J - K)_c - 2.5 \log(F_{H,c}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} K_a &= m_{0,K} - k_K x_{K,a} + C_K(J - K)_a - 2.5 \log(F_{K,a}) \\ K_b &= m_{0,K} - k_K x_{K,b} + C_K(J - K)_b - 2.5 \log(F_{K,b}) \\ K_c &= m_{0,K} - k_K x_{K,c} + C_K(J - K)_c - 2.5 \log(F_{K,c}), \end{aligned} \quad (3.4)$$

em que J_i, H_i e K_i são as magnitudes padrão para a estrela i , $x_{X,i}$ é a massa de ar da banda X para a estrela i , $(J - K)_i$ é a cor da estrela padrão i e $F_{X,i}$ são as contagens medidas na banda X para a estrela i .

Usou-se o catálogo de Persson et al. 1998 para selecionar as estrelas padrão, cujas magnitudes são listadas nas tabelas 3.2 e 3.3.

Turno de 1999

Neste turno só foi observada a estrela padrão S217-D (tabela 3.2) impossibilitando a resolução do sistema acima. Determinamos, portanto, apenas o ponto zero de magnitude.

A correção por extinção atmosférica também não foi feita pois por algum motivo técnico, nem as massas de ar nem a hora da observação foram escritas no cabeçalho das imagens. Os valores de ponto zero para a calibração em magnitude calculados com esta estrela são dados na tabela 3.4

Turno de 2000

No turno de 2000 foram observadas quatro estrelas padrão: S708-D, P550-C, S264-D e S071-D (tabela 3.3). A calibração dos contínuos foi feita usando as estrelas S708-D e S264-D observadas em J, H e K . K' foi calibrado usando as estrelas S264-D e S071-D (esta última observada apenas em K'). Usamos a média dos pontos zero das estrelas para calibrar as imagens das galáxias. Para corrigir por extinção atmosférica usamos valores das médias mensais do coeficiente de extinção atmosférica do CTIO nas bandas J, H e K (o coeficiente de K' foi assumido igual ao de K) determinados por Frogel (1998). É razoável usar este valor médio pois ele é definido basicamente pelo sítio onde se encontra o telescópio e varia aproximadamente ciclicamente ao longo das estações seguindo as variações do conteúdo de H_2O atmosférico.

Os valores de ponto zero para a calibração em magnitude calculados com estas estrelas são dados na tabela 3.4.

Devido ao pequeno número de estrelas padrão não foi possível estabelecer uma correção de cor confiável na calibração. Além disso, a calibração realizada em outros trabalhos normalmente não inclui a correção por termos de cor por ele ser em geral desprezível.

3.3.2 Linha

Para calibrar as imagens em banda estreita foi necessário determinar o fluxo padrão das estrelas nos filtros de banda estreita. Para isto, ajustamos uma função de Planck aos fluxos padrão nas bandas B, V, J, H e K (Persson et al. 1998; Lasker et al. 1988) e convoluimos a curva de transmissão de cada filtro de banda estreita com esta função de Planck. As figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 mostram as funções de Planck ajustadas aos fluxos em banda larga para cada estrela. As figuras 3.5 e 3.6 mostram as curvas de transmissão dos filtros estreitos usados em cada câmara (ou turno). Testamos o método convoluindo a curva de transmissão dos filtros de banda larga com as funções de Planck ajustadas e encontramos que as discordâncias com os fluxos J, H e K previstos em Persson et al. (1998) são de no máximo 2 %.

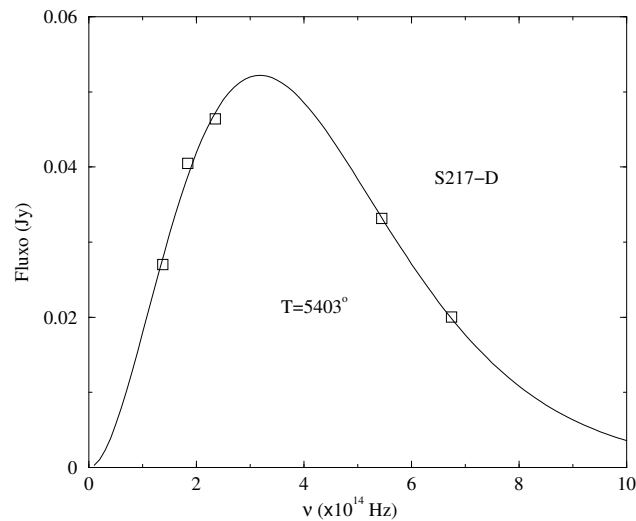


Figura 3.1: Planckiana para a estrela S217-D.

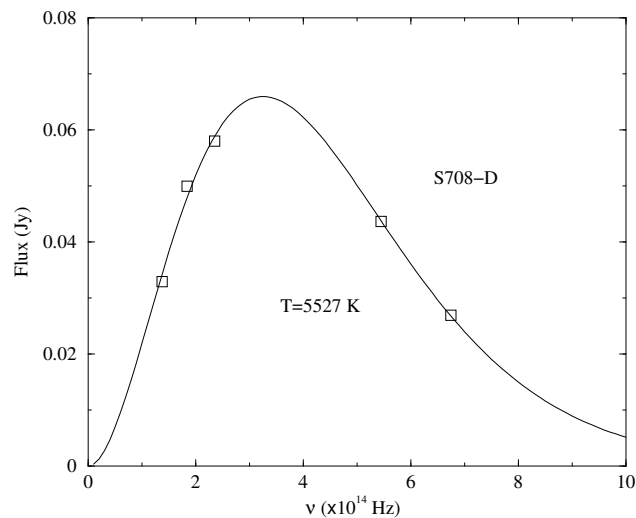


Figura 3.2: Planckiana para a estrela 708-D.

As constantes de calibração para os filtros estreitos são dadas na tabela 3.5. Para calibrar uma imagem em fluxo integrado num dado filtro multiplicamos a constante de calibração do filtro pela imagem dividida pelo tempo de exposição em segundos. Para construir as imagens em linha, deve-se calibrar as imagens de linha+contínuo e de contínuo em fluxo por comprimento de onda

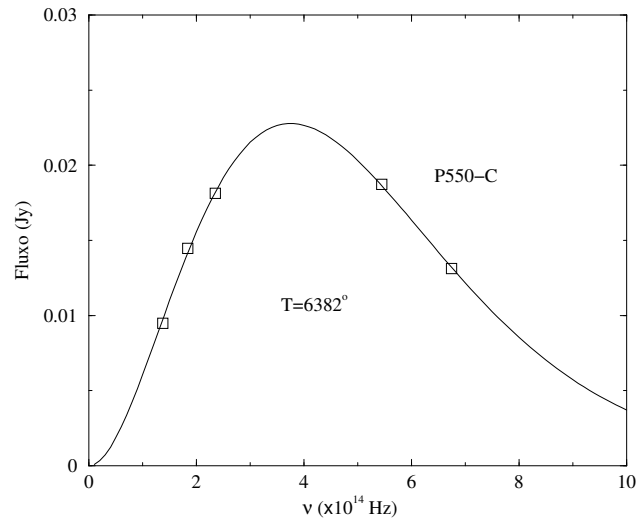


Figura 3.3: Planckiana para a estrela P550-C.

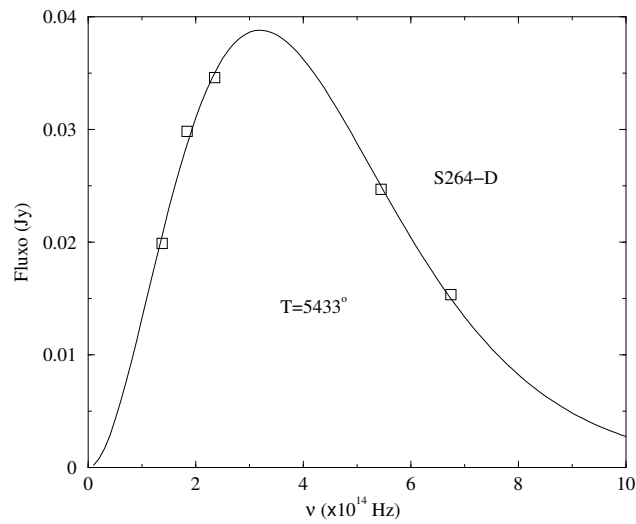


Figura 3.4: Planckiana para a estrela S264-D.

para levar em consideração as diferenças nas larguras dos filtro. Essas larguras são listadas na tabela 3.5.

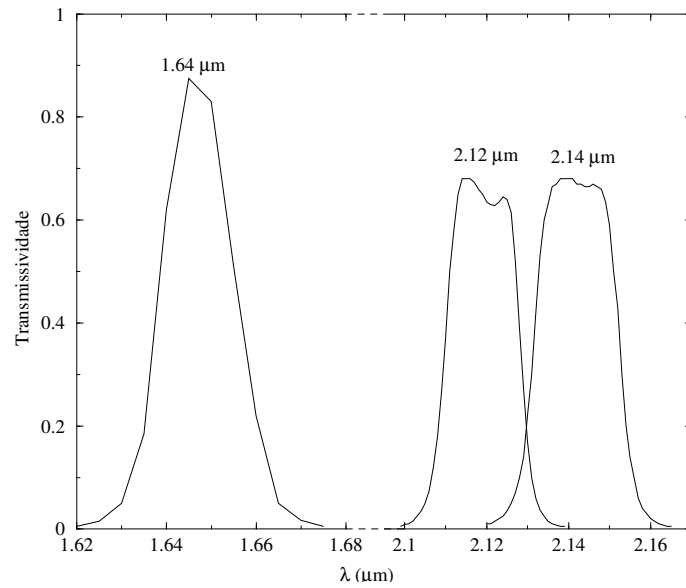


Figura 3.5: Filtros usados no turno de 1999.

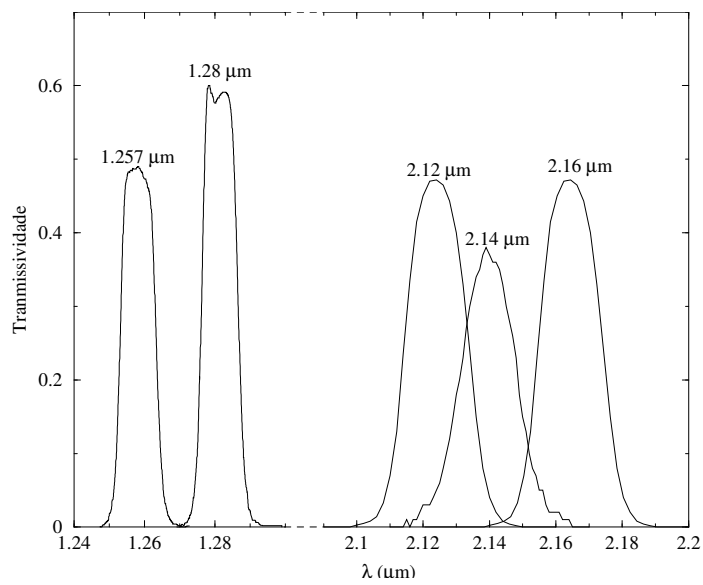


Figura 3.6: Filtros usados no turno de 2000.

Objeto	Data da observação (dd/mm/aaaa)	Filtro	Tempo de exposição (s)
NGC 4388	24/05/1999	J	540
		H	540
		K	270
		2.144	1800
		2.122	1800
NGC 4945	22/05/1999	J	270
		H	40
		K	90
		2.122	1800
		2.144	800
NGC 3227	14/02/2000	1.257	1800
		1.06	675
		H	135
	15/02/2000	J	80
		K	135
ESO 428- G 014	15/02/2000	2.166	1620
		2.122	2000
		K	80
		1.06	270
		1.257	1800
NGC 5252	15/02/2000	J	80
		2.166	1800
		2.144	2600
		1.282	1400
	16/02/2000	1.257	800
NGC 1566	16/02/2000	J	120
		2.144	1260
		Ks	480
		1.257	720
NGC 3393	16/02/2000	J	360
		2.144	1620
		2.12	1620
NGC 5506	16/02/2000	Ks	600
		1.257	1440
		J	720
		1.06	810
		2.144	360
		Ks	35-140

Tabela 3.1: Registro das observações dos turnos de 1999 e 2000.

Estrela	A.R.		Dec.		J	H	K
	(J2000.0)	(J2000.0)	(J2000.0)	(J2000.0)			
S217-D	12 02 45.2	-50 03 10	11.323	11.002	10.931		

Tabela 3.2: Estrela padrão do turno de 1999 (Persson et al. 1998).

Estrela	A.R.		Dec.		J	H	K	K'
	(J2000.0)		(J2000.0)					
S708-D	09 48 56.4	-10 30 32	11.081	10.775	10.715	10.718		
P550-C	10 33 51.8	04 49 05	12.344	12.121	12.067	12.081		
S264-D	10 47 24.1	-44 34 05	11.642	11.335	11.263	11.280		
S071-D	18 28 08.9	-69 26 03	12.252	11.916	11.834	11.839		

Tabela 3.3: Estrelas padrão usadas na calibração do turno 2000 (Persson et al. 1998).

Banda	Ponto zero (mag)		Incerteza na Calibração (mag) 2º Turno
	1º Turno	2º Turno	
J	22.529	22.936	0.052
H	22.718	22.942	0.076
K	22.335	22.486	0.086
K'		23.010	0.384

Tabela 3.4: Pontos zero de magnitude e incerteza correspondente no turno de 2000 (não é possível determinar a incerteza para o turno de 1999 pois só existe uma estrela).

Filtro	Turno de 1999	Turno de 2000	Larg. equiv. (μm)
	($\frac{\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}}{\text{conts s}^{-1}}$)	($\frac{\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}}{\text{conts s}^{-1}}$)	
1.257		$2.64 \times 10^{-16} \pm 3.28\%$	0.005183
1.280		$2.46 \times 10^{-16} \pm 3.99\%$	0.006420
1.644	3.05×10^{-16}		
2.122	2.31×10^{-16}	$6.10 \times 10^{-17} \pm 2.46\%$	0.009644
2.144	1.56×10^{-16}	$7.34 \times 10^{-17} \pm 0.51\%$	0.007469
2.166		$5.10 \times 10^{-17} \pm 1.96\%$	0.009645
J		4.497×10^{-16}	0.205386
K, K'		1.59×10^{-16}	0.2891

Tabela 3.5: Constantes de calibração para os filtros de banda estreita. As incertezas no turno de 1999 não foram computadas pois neste turno só existe uma estrela padrão.

Capítulo 4

Resultados

4.1 NGC 3227

4.1.1 [Fe II]

A construção da imagem na linha do [Fe II] foi feita subtraindo a imagem no filtro 1.06 da imagem no filtro 1.257. A imagem no filtro 1.06 (fig. 4.2) não pode ser calibrada como descrito no capítulo anterior por que não foi possível obter a curva de transmissão deste filtro. Somente a imagem no filtro 1.257 (fig. 4.3) foi então calibrada, e foi adotado o seguinte procedimento para "calibrar" a imagem em 1.06:

1. A imagem no filtro 1.06 foi primeiramente alinhada com a imagem no filtro 1.257 usando a distribuição de brilho nuclear interna a $1''$. Não havia estrelas no campo, por isso foi necessário usar o núcleo da galáxia. Um segundo alinhamento mais refinado foi necessário pois a distribuição de brilho na região interna a $1''$ na imagem da linha é perturbada pela presença de possíveis características de emissão. Esse alinhamento foi feito através da análise visual da superposição de isofotas das imagens de linha e contínuo. Este segundo alinhamento foi implementado na imagem da linha. A figura 4.1 mostra os contornos das duas imagens superpostas antes e depois do alinhamento refinado.
2. Como não foi observada uma imagem de céu para este filtro, subtraiu-se um céu constante da imagem 1.06: 557 contagens.
3. A imagem em 1.06 foi então multiplicada pela razão entre os tempos de exposição nos filtros 1.256 e 1.06.
4. Em seguida, esta imagem foi multiplicada pela razão entre as contagens por segundo nos filtros 1.257 e 1.06 das estrelas padrão. A razão encontrada foi $\frac{CONT_{S_{1.257}}}{CONT_{S_{1.06}}} = 0.104$. Na figura 4.6 plotamos as contagens resultantes em 1.257 contra contagens em 1.06 de uma região de 81×81 pixels contendo o núcleo da galáxia e vemos que este escalonamento satisfaz ao requisito de ter a reta $y = x$ como envoltória inferior na região de baixas contagens (onde não se espera haver contribuição da linha).
5. A imagem em 1.06 foi então convoluída com uma gaussiana de $\sigma = 1.52$ e extensão do kernel gaussiano 2σ com o objetivo de igualar o seeing do contínuo com o da linha. Esta correção faz com que os pontos da região de contagens altas que ainda estavam abaixo da reta $y = x$ se desloquem para cima dela (figura 4.7).

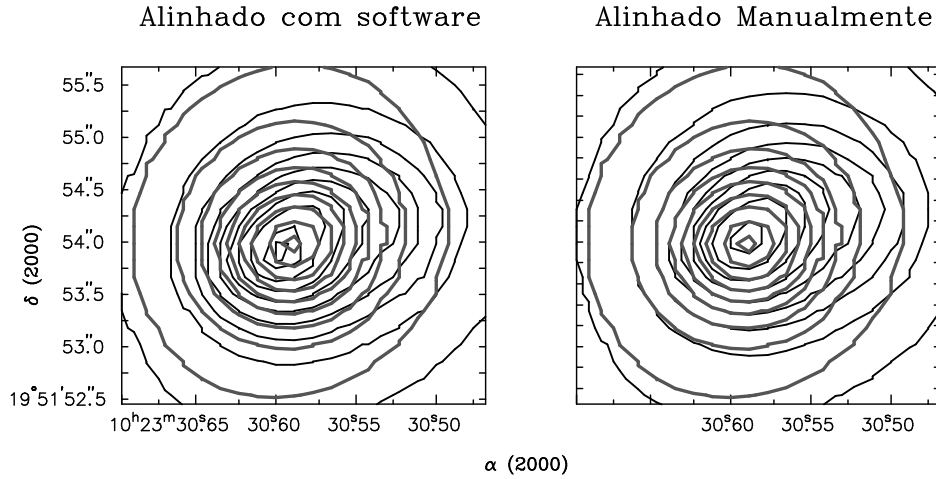


Figura 4.1: Isofotas da NGC 3227 no filtro 1.257 (preto) e 1.06 (cinza) sobrepostas antes e depois do alinhamento manual (ver texto).

6. A imagem final em 1.06 foi então subtraída da imagem em 1.257, e o resultado é mostrado na figura 4.4.

A imagem resultante tem uma componente brilhante em forma de cunha deslocada para NW com uma extensão de aproximadamente $5''$. Esta componente está alinhada com a emissão de [O III] (Delgado & Pérez 1997). Outra componente menos brilhante mas com sinal acima de 20 vezes o desvio padrão do céu se estende a $7''$ entre as direções E e SE ($PA \sim 110^\circ$). Esta componente tem a aparência de filamentos embora esta aparência possa ser em decorrência do ruído de céu. Meixner et al. (1990) obtiveram um mapa de CO ($J = 1 - 0$) com uma estrutura estendida a SE por $7''$ e outra estendida a NW por $10''$.

Fotometrias integradas em aberturas de $1''$ e $5/8''$ nos fornecem respectivamente, os fluxos $7.8 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ e $3.1 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

4.1.2 Contínuo

As imagens J, H e K calibradas em magnitude são mostradas nas figuras 4.9, 4.10 e 4.11 respectivamente. Devido a falta de imagem de céu na banda H subtraiu-se um valor constante obtido da média das partes mais externas da imagem H, dando origem a erros fotométricos e ruído maiores do que nas outras bandas. Esse ruído é evidente na imagem da figura 4.10 em que vemos não só os efeitos do ruído em pequena escala como desvios do céu em grande escala que fazem as isofotas mais externas se estenderem na direção NW. O erro teórico devido a incerteza fotométrica é mostrado na figura 4.8 onde é possível ver o efeito da não subtração de céu na banda H.

Na banda K temos uma falha na imagem que corre até o núcleo desde o norte devida às bordas que existem entre os *buffers* do frame.

Nas três bandas vê-se um objeto similar a uma estrela localizado a $5/5''$ N que chamaremos de objeto S.

Fotometrias de abertura

Na tabela 4.1 comparamos fotometrias de abertura de McAlary et al. (1983) e de Schinnerer et al. (2001) com fotometrias de mesmas aberturas usando nossos dados. Como se vê na tabela,

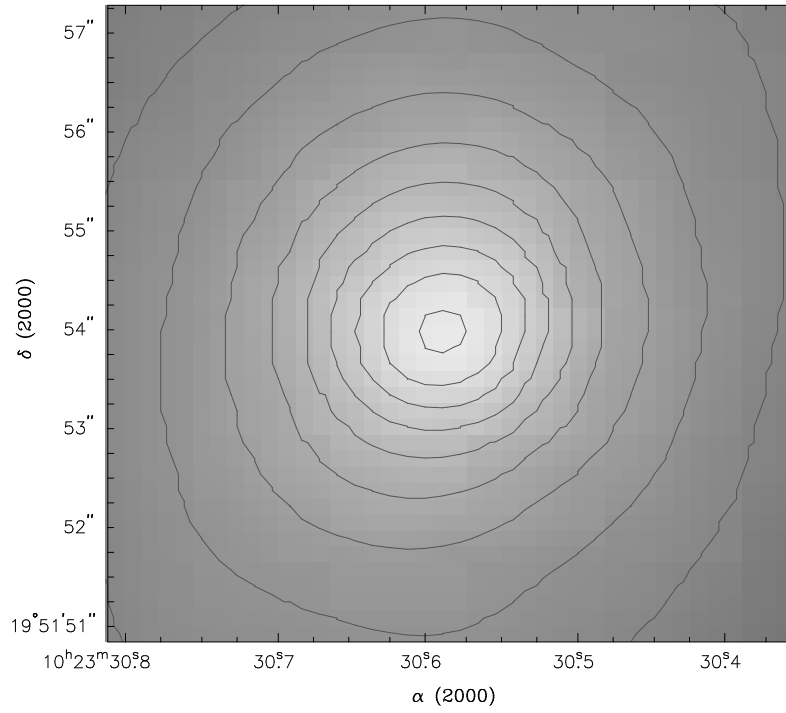


Figura 4.2: Tons de cinza da imagem da região central da NGC 3227 no filtro 1.06. Os tons variam desde 40 (escuro) até 2250 contagens.

há um desvio máximo de 0.25 mag entre as nossas fotometrias e as de McAlary et al. (1983) e 0.1 mag quando comparamos as nossas fotometrias com as fotometrias mais recentes de Schinnerer et al. (2001). Tais “discordâncias” são aceitáveis entre fotometrias feitas a partir de diferentes observações, usando diferentes métodos e instrumentos de observação. Além do mais as maiores discordâncias ocorrem nas grandes aberturas, onde os erros fotométricos começam a ser mais importantes para a medida.

Banda	4''6			9''1			18''2	
	McAlary	Schinnerer	nossa	McAlary	Schinnerer	nossa	McAlary	nossa
J	11.145	11.17	11.246	10.828	10.76	10.836	10.447	10.419
H	10.416	10.39	10.496	10.119	10.02	10.131	9.717	9.801
K	9.915	9.76	9.751	9.648	9.41	9.424	9.321	9.079
J–H	0.729	0.78	0.75	0.709	0.74	0.705	0.73	0.618
H–K	0.501	0.63	0.745	0.471	0.61	0.707	0.396	0.722
J–K	1.23	1.41	1.495	1.18	1.35	1.412	1.126	1.34

Tabela 4.1: Tabela comparando nossas fotometrias de abertura (diâmetros 4''6, 9''1 e 18''2) com as de outros trabalhos (ver texto).

Mapas de cor

Mapas J–H, H–K e J–K são mostrados nas figuras 4.12, 4.13 e 4.14 respectivamente. Nos mapas H–K e J–K vemos os efeitos da falha vertical na imagem K devida às bordas dos *buffers*.

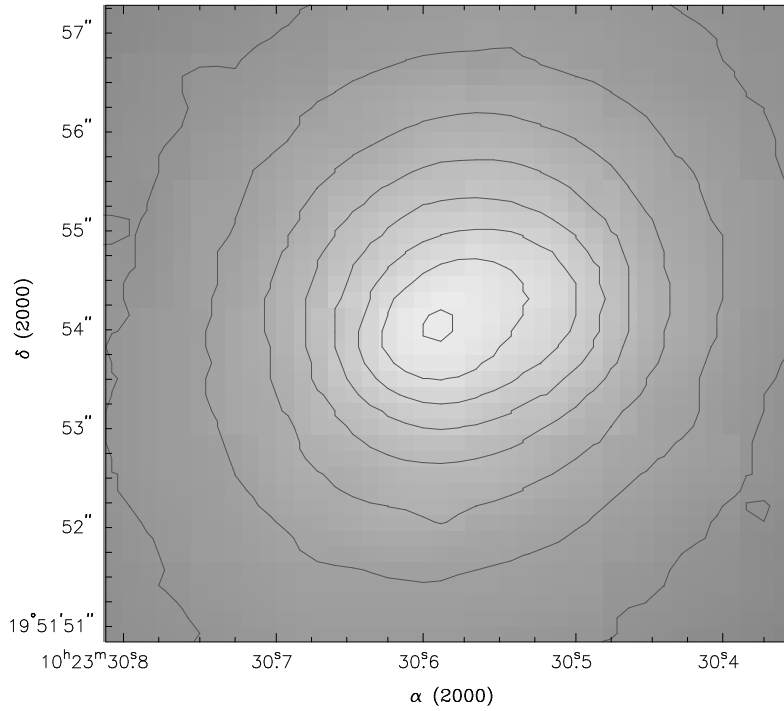


Figura 4.3: Tons de cinza da imagem da região central da NGC 3227 no filtro 1.257. Os tons vão desde 70 (escuro) até 2350 contagens.

No mapa J–H vemos o núcleo avermelhado da galáxia sendo cortado por uma região menos avermelhada por 0.3 mag em forma de cone e se estendendo por $\sim 1''.5$ na direção NE. Esta morfologia, combinada com uma região mais vermelha a SW do núcleo sugerem que o lado mais próximo da galáxia é o SW, o que é reforçado pelo mapa de cor J–K (fig. 4.14).

Entre as direções N e NW vemos uma estrutura alongada na direção SE↔NW à $5''.5$ do núcleo com índice $0.5 < J-H < 0.8$. Vamos chamar essa estrutura de estrutura **A** de agora em diante. Em H–K observamos a estrutura **A** mas seu índice de cor H–K é mais baixo que o das regiões vizinhas onde se encontra: $0 < H-K < 0.3$. Deve-se observar que a estrutura **A** não deve ser confundida com o objeto **S**. Ambos aparecem nos mapas H–K e J–K nitidamente separados. Ao contrário do que acontece com o objeto **S**, a estrutura **A** não aparece nas imagens J, H e K.

Perfis de brilho

Para construir perfis de brilho ajustamos elipses a imagem J usando a tarefa `ellipse` do pacote STSDAS do IRAF. Calculamos, nas três bandas, o brilho superficial médio ao longo das elipses ajustadas em J. Os perfis J, H e K são mostrados na figura 4.15 e perfis de J–H, H–K e J–K são mostrados na figura 4.16. Os erros mostrados nos perfis são: o erro fotométrico ($\frac{2.5}{\ln(10)} \frac{I_{J,H,K}}{\delta I_{J,H,K}}$ em que $\delta I_{J,H,K}$ é o desvio padrão das contagens da intensidade do céu) e o erro devido a dispersão de intensidades ao longo da trajetória das elipses (a expressão do erro é igual a anterior mas agora $\delta I_{J,H,K}$ é a dispersão de intensidades).

Comparamos nossos perfis de brilho e perfis de cor com os de Peletier et al. (1999). O perfil de brilho em H mostra uma boa concordância. Entretanto, nossos perfis de cor mostram discordâncias significativas a grandes distâncias do núcleo quando comparadas com as do trabalho citado. A $1''$ do núcleo medimos J–H $\simeq 0.03$ mag mais alto e a $10''$ do núcleo encontramos J–H $\simeq 0.35$ mag mais baixo. Em H–K, encontramos a $1''$ do núcleo, $\simeq 0.03$ mag mais baixo e em $10''$ encontramos $\simeq 0.35$ mag mais alto.

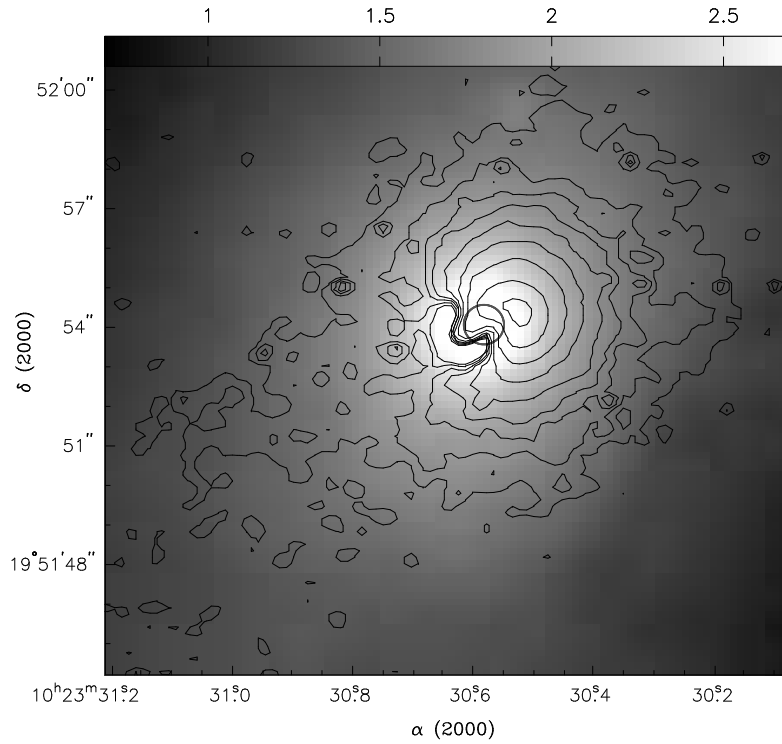


Figura 4.4: Contornos da linha do [Fe II] sobrepostos aos tons de cinza da imagem da região central de NGC 3227 no filtro 1.06 (contínuo). O círculo no centro da imagem tem diâmetro de $1''$ e indica a região mais afetada por diferenças de seeing e alinhamento. O céu tem desvio padrão $\sigma = 1.2 \times 10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ pix}^{-1}$. Os contornos plotados são 7σ , 8σ , 9σ , 10σ , 12σ , 16σ , 24σ , 48σ e 96σ .

Comparamos, também, nossos perfis de cor com os de Schinnerer et al. (2001). Em J–H, a $1''$ do núcleo nossa medida está 0.12 mag mais alta e a $5''$ do núcleo nossa medida está 0.13 mag mais baixa. Em H–K, a $1''$ do núcleo nossa medida está 0.13 mag mais baixa e a $5''$ do núcleo nossa medida está 0.23 mag mais baixa. Atribuímos estas diferenças a possíveis diferenças nos parâmetros de ajuste das isofotas.

Na figura 4.17 mostramos a variação da elipticidade e PA das isofotas da imagem J.

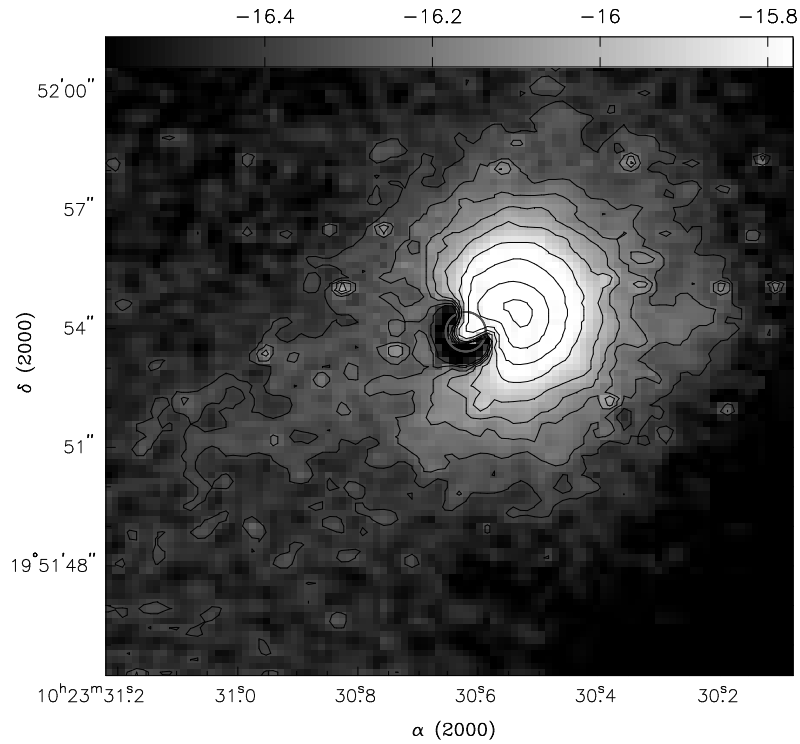


Figura 4.5: Contornos da linha [Fe II] sobrepostos aos tons de cinza da mesma linha nas mesmas unidades da fig. 4.4.

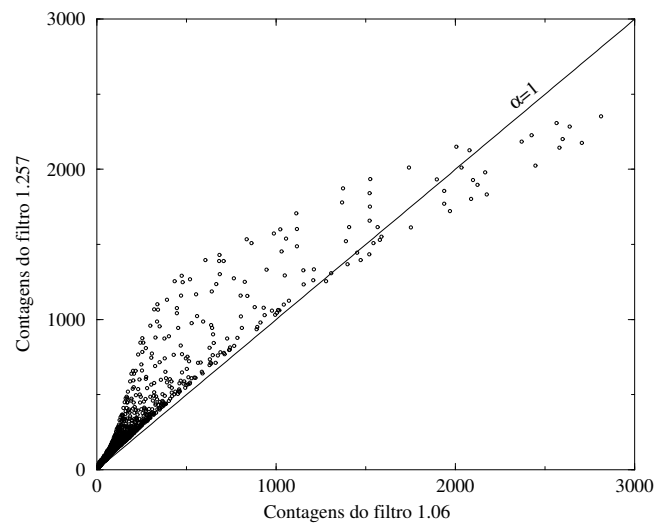


Figura 4.6: Após corrigir pelo escalonamento encontrado com as estrelas padrão a reta $y = x$ descreve bem a envoltória inferior dos pontos da região de baixas contagens do gráfico.

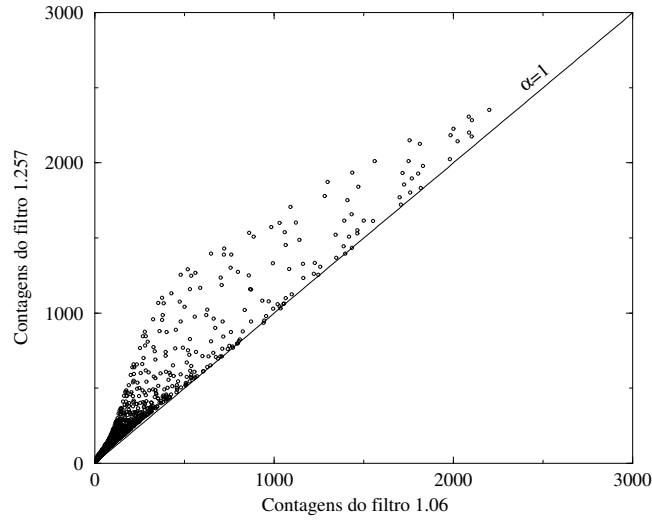


Figura 4.7: Além do escalonamento agora aplicamos uma convolução com a gaussiana mais estreita que leva os pontos para cima da reta $y = x$.

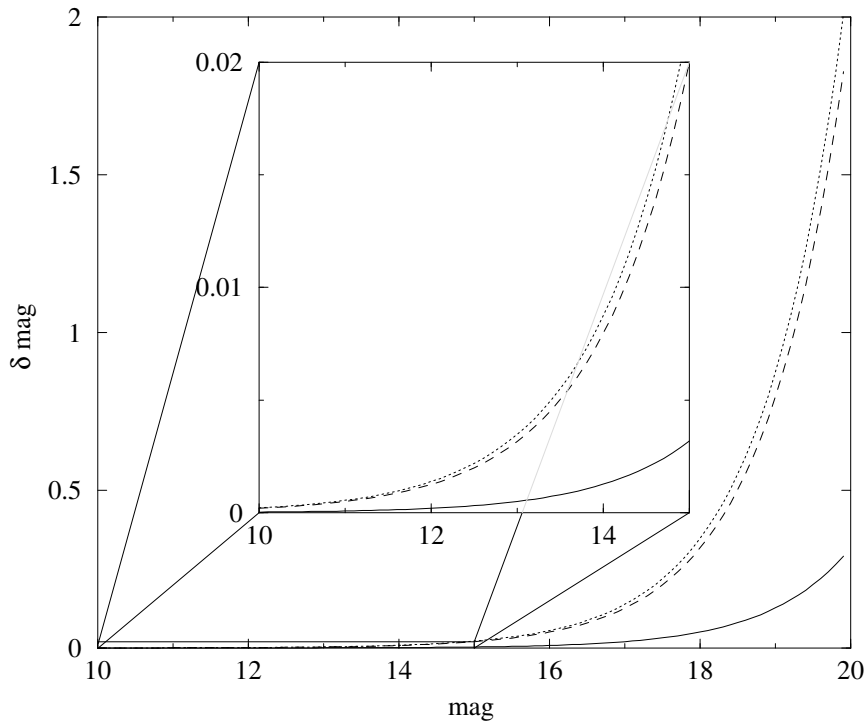


Figura 4.8: Erro teórico devido a incerteza fotométrica. O quadrado interno mostra uma ampliação da região com $10 < \mu < 15$ e $0 < \delta\text{mag} < 0.02$. A linha contínua é o erro na banda J, a linha pontilhada é o erro na banda H e a linha tracejada é o erro na banda K.

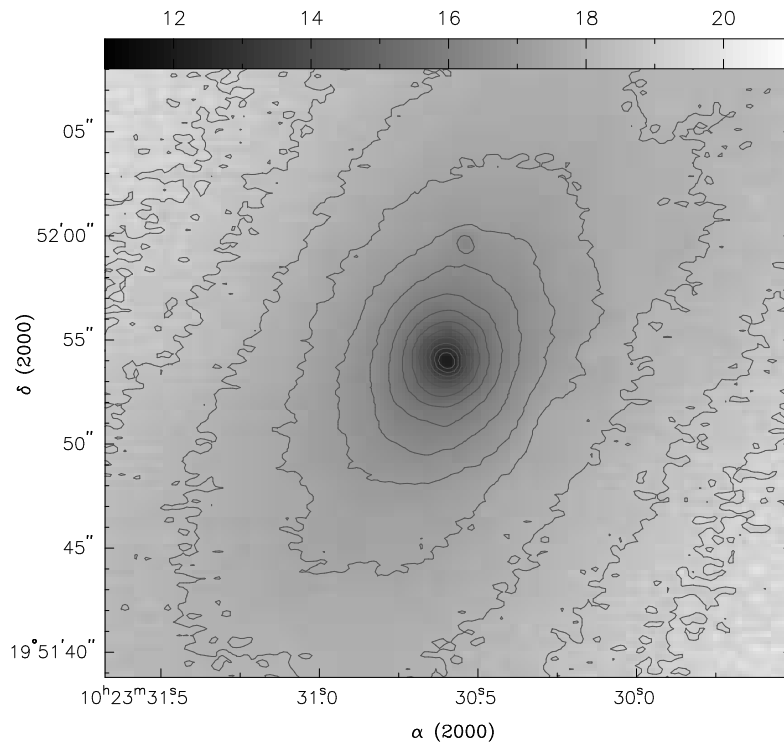


Figura 4.9: Tons de cinza e contornos na banda J. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos traçados tem valores entre 12 e 19 $\text{mag}/''^2$ com incremento de 0.5.

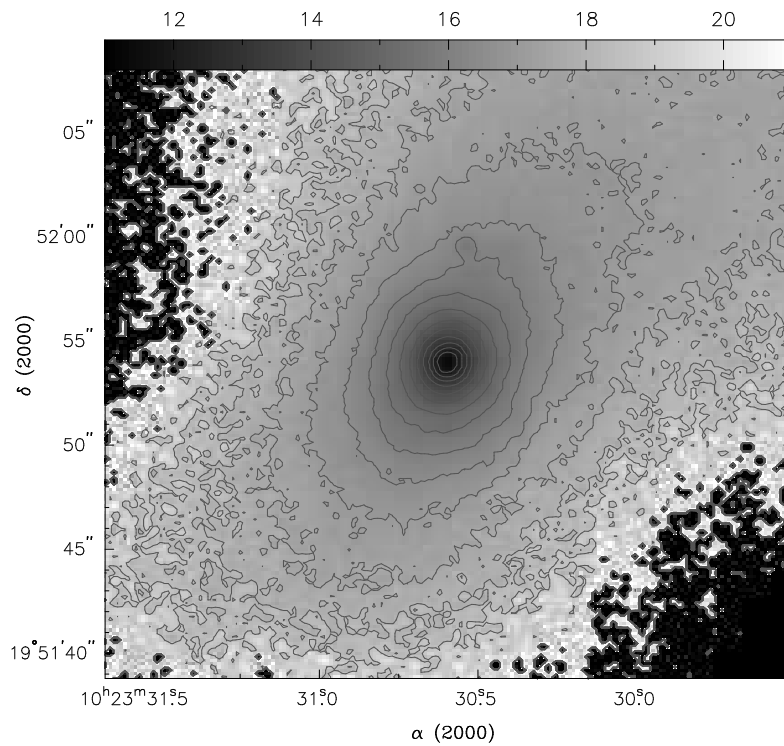


Figura 4.10: Tons de cinza e contornos na banda H. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos traçados tem valores entre 12 e 18.5 $\text{mag}/''^2$ com incremento de 0.5.

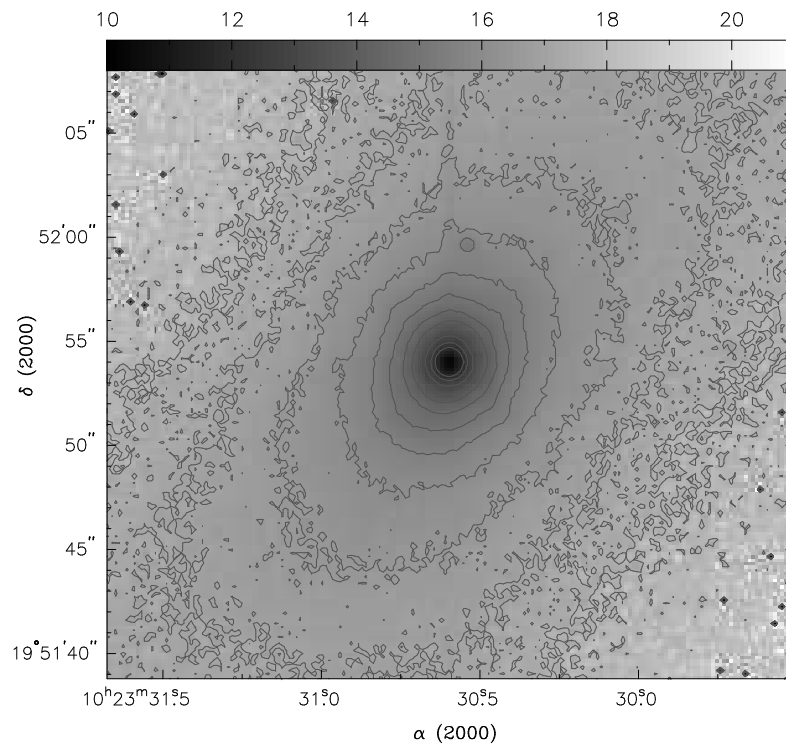


Figura 4.11: Tons de cinza e contornos na banda K. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos traçados tem valores entre 12 e 17.5 mag/''² com incremento de 0.5.

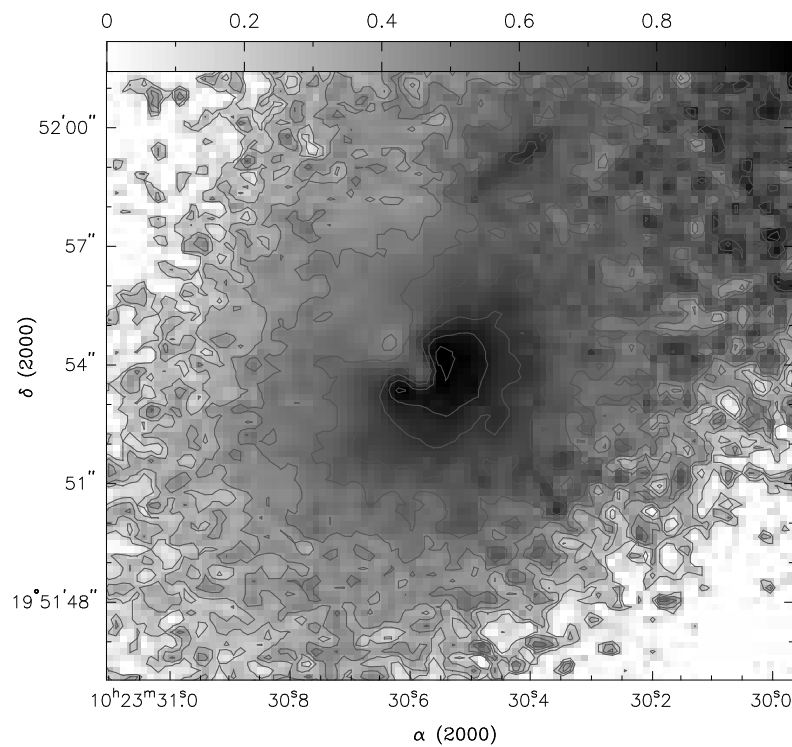


Figura 4.12: Tons de cinza e contornos da cor J–H. Escala de tons está em magnitude. Os contornos tem valores J–H variando entre 0.2 e 1 magnitude, com incremento de 0.1.

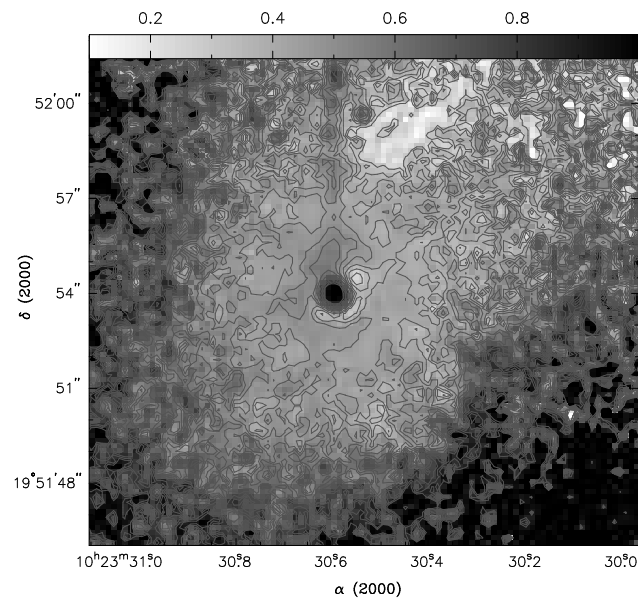


Figura 4.13: Tons de cinza e contornos da cor H–K. Escala de tons está em magnitude. Os contornos tem valores H–K variando entre 0.3 e 0.9 magnitudes, com incremento de 0.05.

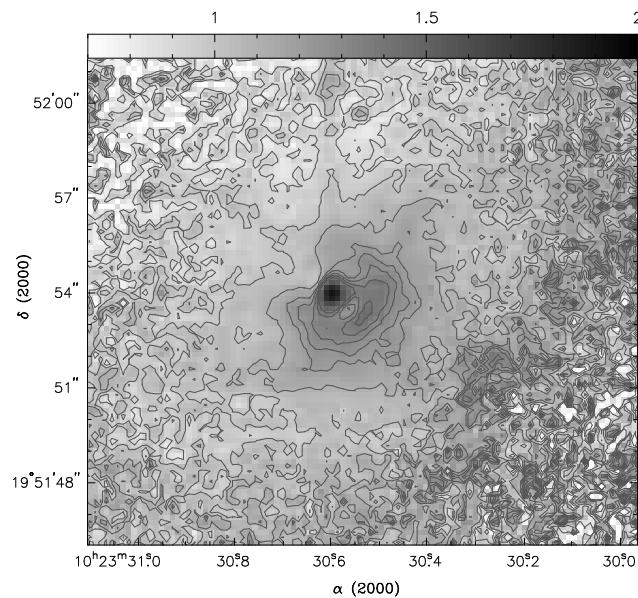


Figura 4.14: Tons de cinza e contornos da cor J–K. Escala de tons está em magnitude. Os contornos tem valores de J–K iguais a 0.9 1.0 1.1 1.2 1.25 1.3 1.35 1.4.

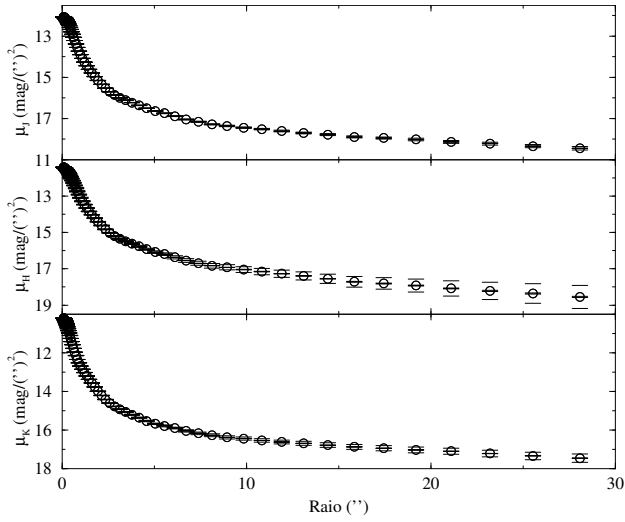


Figura 4.15: Perfis de brilho μ_J , μ_H e μ_K . Os erros maiores são devidos ao erro fotométrico e os menores (praticamente imperceptíveis nesta figura) a dispersão de intensidades ao longo das elipses ajustadas.

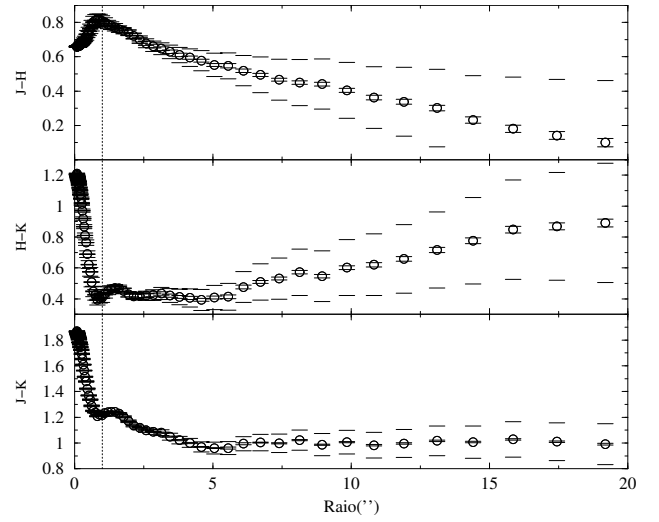


Figura 4.16: Cores obtidas a partir dos perfis de brilho $\mu_J - \mu_H = J-H$, $\mu_H - \mu_K = H-K$ e $\mu_J - \mu_K = J-K$. Os erros são como na figura ao lado. As linhas tracejadas verticais delimitam a região interna a $1''$ onde não se pode confiar nas cores devido aos efeitos de seeing e alinhamento.

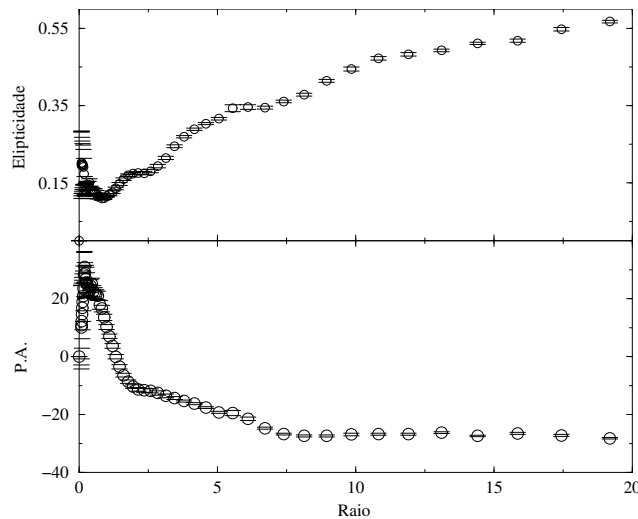


Figura 4.17: Elípticidade e P.A. em função do raio das elipses ajustadas às isofotas da imagem J de NGC 3227.

4.2 NGC 4388

4.2.1 H₂

A imagem em H₂ foi feita subtraindo a imagem no filtro 2.12 da imagem no filtro 2.14, após a calibração descrita no capítulo 3. O resultado é apresentado na figura 4.18.

As isofotas mais externas estão alongadas ao longo do plano da galáxia, ao passo que as isofotas mais internas (com extensão menor que 2'') são mais circulares e até mesmo um pouco alongadas perpendicularmente ao plano.

A isofota mais externa tem uma extensão de 3''.5 ao longo da direção transversal ao plano e 7'' ao longo do plano da galáxia.

O fluxo integrado em uma abertura de raio 3'' é 3.5×10^{-14} erg s⁻¹ cm⁻².

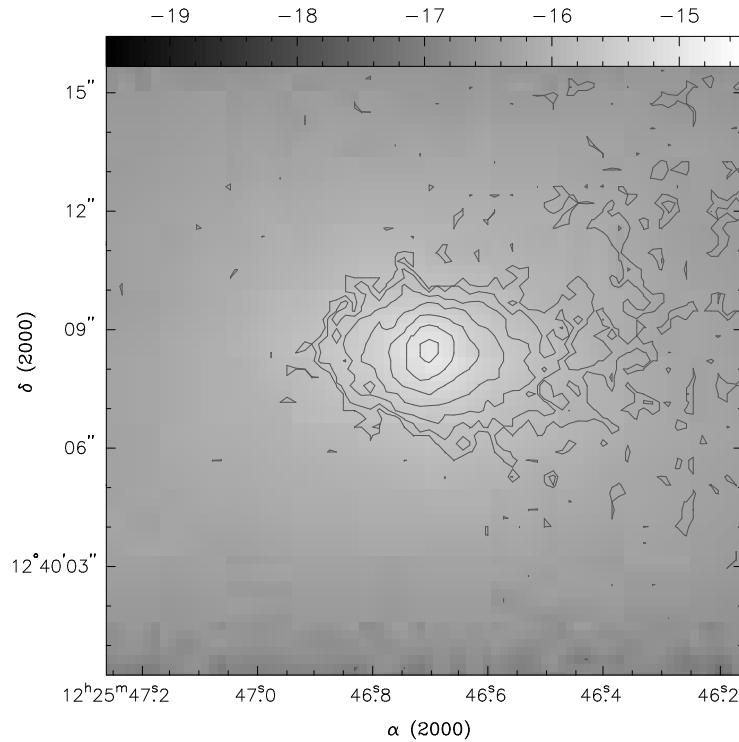


Figura 4.18: Contornos de H₂ sobrepostos a imagem do contínuo calibrado em erg s⁻¹ cm⁻² pix⁻¹. O desvio padrão do céu σ é 5×10^{-18} e os valores dos contornos são 3 σ , 6 σ , 9 σ , 12 σ , 18 σ , 24 σ , 36 σ , 48 σ , 60 σ , 72 σ , 96 σ e 112 σ .

4.2.2 Contínuo

As imagens em J, H e K são apresentadas nas figuras 4.19, 4.20 e 4.21. Observa-se que a morfologia é distorcida por uma faixa de poeira que se estende ao longo do plano da galáxia e ao norte do núcleo. Nota-se também que a banda J é a mais afetada pela faixa de poeira enquanto que a banda K é a menos afetada.

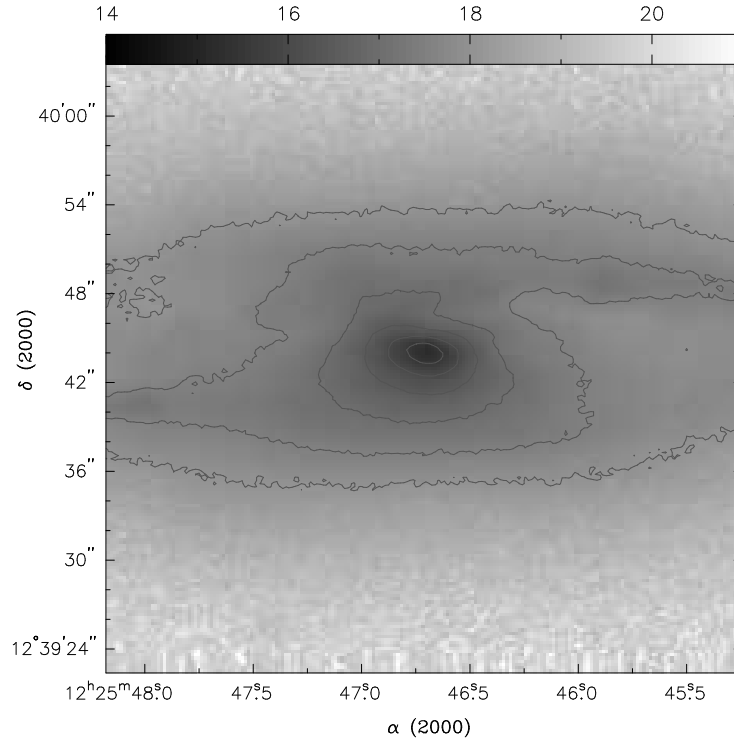


Figura 4.19: Tons de cinza e contornos na banda J. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos variam entre 15.5 e 18 mag/''², com incremento de 0.5.

Fotometrias de abertura

Na tabela 4.2 comparamos nossas fotometrias numa abertura de 15'' com fotometrias de Spinoglio et al. (1995). Encontramos J mais brilhante por 0.24 mag e K mais brilhante por 0.43 mag. Também encontramos discordâncias nas cores.

Banda	Spinoglio	nossa
J	11.424	11.185
H	10.958	10.933
K	10.673	10.242
J-H	0.466	0.252
H-K	0.285	0.691
J-K	0.751	0.943

Tabela 4.2: Fotometrias de abertura (diâmetro 15'') comparando nossas fotometrias com as de Spinoglio et al. (1995).

Perfis de brilho

Assim como para a NGC 3227 ajustamos elipses às imagens J, H e K usando a tarefa `ellipse` do IRAF. Com a saída desta tarefa podemos construir gráficos de perfil de brilho, elipticidade e PA em função do semi-eixo maior das elipses.

Na figura 4.24 mostramos a elipticidade e PA em função do semi-eixo maior das elipses ajustadas para a banda J. Para as elipses com semi-eixo maior menor do que 5'' a elipticidade é \sim

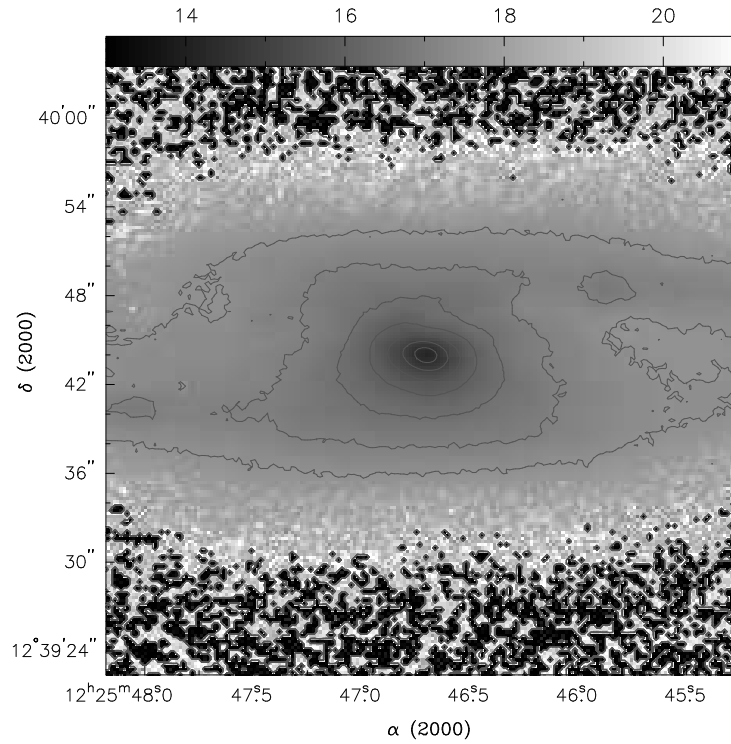


Figura 4.20: Tons de cinza e contornos na banda H. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos variam entre 14.5 e 17.5 mag/''², com incremento de 0.5.

0.45. O ajuste em PA gera valores $\sim 85^\circ$ para as elipses com semi-eixo maior menor do que $5''$ e $\sim 90^\circ$ para elipses com semi-eixo maior maior do que $10''$.

Comparamos nossos perfis de brilho (ver figuras 4.22 e 4.23) e de cor com os de Peletier et al. (1999). A $1''$ do núcleo encontramos $J-H \simeq 0.32$ mag mais baixa e a $10''$ do núcleo encontramos $J-H \simeq 0.4$ mag mais baixa. Em $H-K$ encontramos a $1''$ do núcleo, $\simeq 0.05$ mag mais baixa e a $10''$ do núcleo, $\simeq 0.05$ mag mais alta. No núcleo encontramos o perfil de brilho em $H \simeq 0.9$ mag mais alto (menos brilhante) e a $10''$ do núcleo temos boa concordância.

Não é óbvio que a comparação de tais perfis, feitos (provavelmente) com diferentes algoritmos, seja conclusiva quanto a qualidade da calibração/redução visto que outros efeitos entram em jogo para determinar a concordância ou discordância dos parâmetros ajustados.

Mapas de cor

Os mapas $J-H$, $H-K$ e $J-K$ são mostrados, respectivamente, nas figuras 4.25, 4.26 e 4.27.

O mapa $J-H$ mostra uma região em forma de cunha com índice de cor acima de 0.6 magnitudes (mais vermelho) se estendendo $3''$ desde o núcleo na direção N. Com um índice de cor um pouco mais baixo (0.5 mag) vemos essa região se estendendo na direção NW alinhando-se com a faixa de poeira previamente mencionada.

O mapa $H-K$ ainda mostra a região nuclear se estendendo a partir do núcleo na direção norte por $3''$ porém menos estendida lateralmente. Essa região nuclear está conectada com a faixa de poeira que se estende paralelamente e ao norte do núcleo.

O mapa $J-K$ mostra uma estrutura muito parecida com a descrita para o mapa $J-H$, porém os valores associados as diversas regiões são maiores.

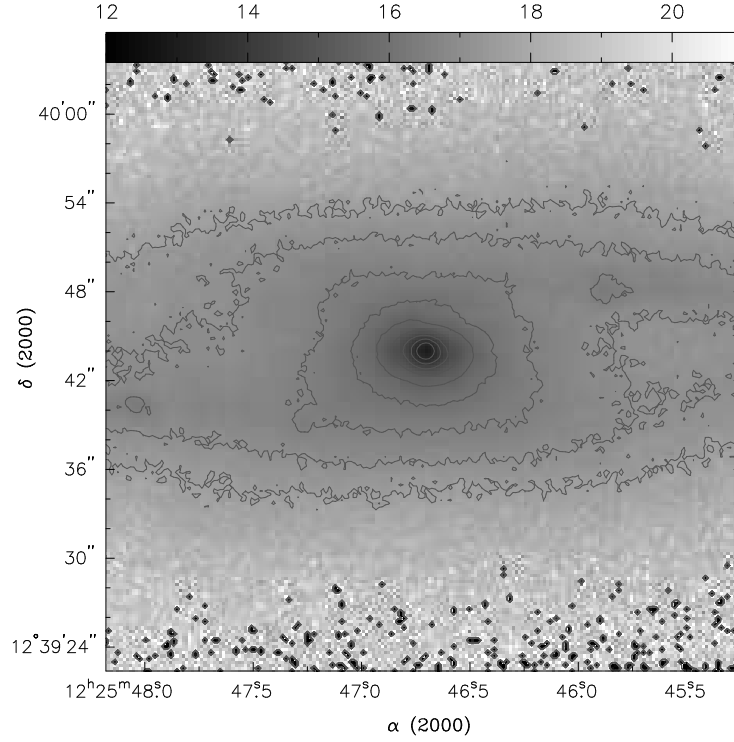


Figura 4.21: Tons de cinza e contornos na banda K. Escala de tons está em brilho superficial. Os contornos variam entre 13.5 e 17.5 mag/''², com incremento de 0.5.

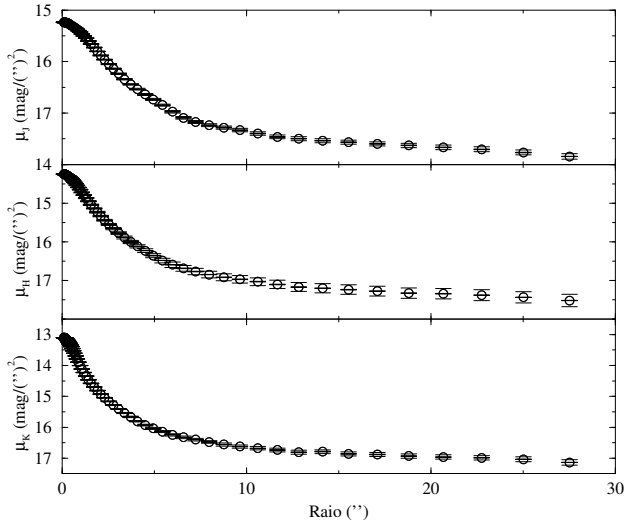


Figura 4.22: Perfis de brilho μ_J , μ_H e μ_K . Os erros maiores são devidos ao erro fotométrico e os menores a dispersão de intensidades ao longo das elipses ajustadas.

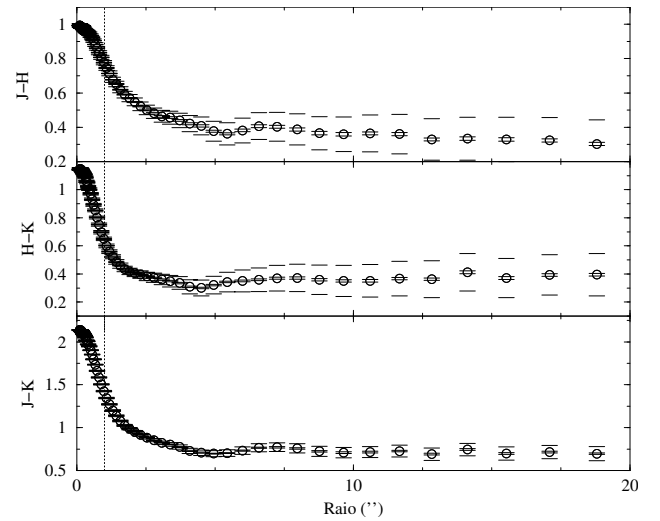


Figura 4.23: Cores dos perfis de brilho $\mu_J - \mu_H = J-H$, $\mu_H - \mu_K = H-K$ e $\mu_J - \mu_K = J-K$. Os erros são como na figura ao lado. A linha tracejada delimita a região interna a 1'' a qual é afetada por diferenças de seeing e alinhamento.

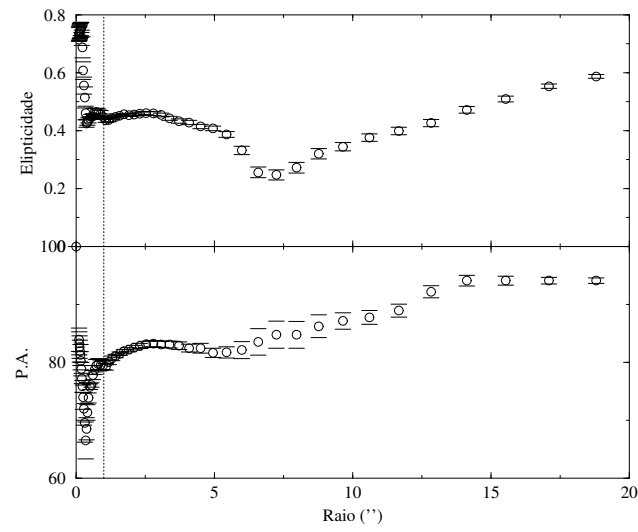


Figura 4.24: Elipticidade e P.A. na banda J em função do raio das elipses ajustadas a imagem J de NGC 4388.

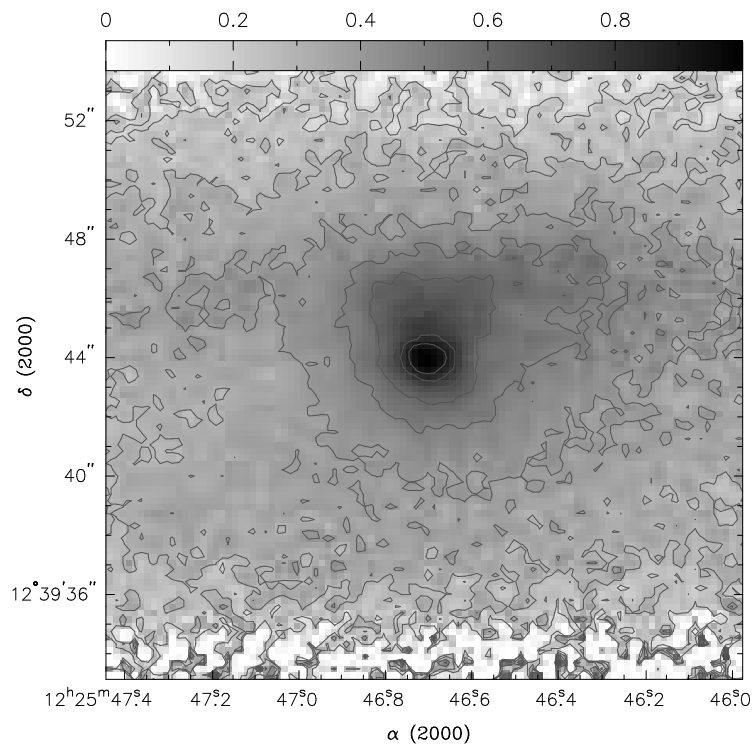


Figura 4.25: Tons de cinza e contornos de J–H. Os tons de cinza estão em magnitudes. Os contornos vão de 0.2 a 0.9 magnitudes, com incremento de 0.1.

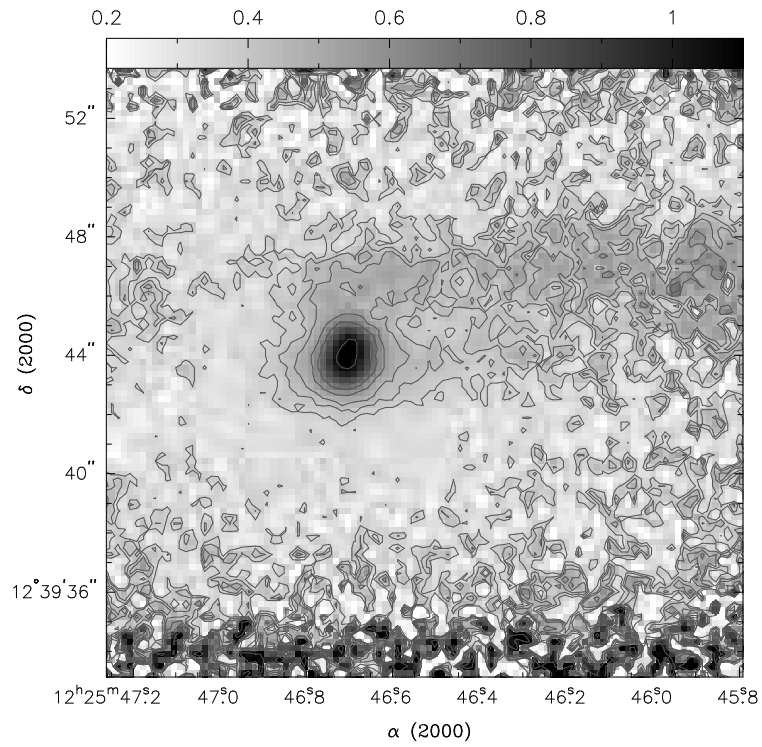


Figura 4.26: Tons de cinza e contornos de H–K. Os tons de cinza estão em magnitudes. Os valores dos contornos são 0.37, 0.42, 0.47, 0.57, 0.67, 0.77 e 1.07.

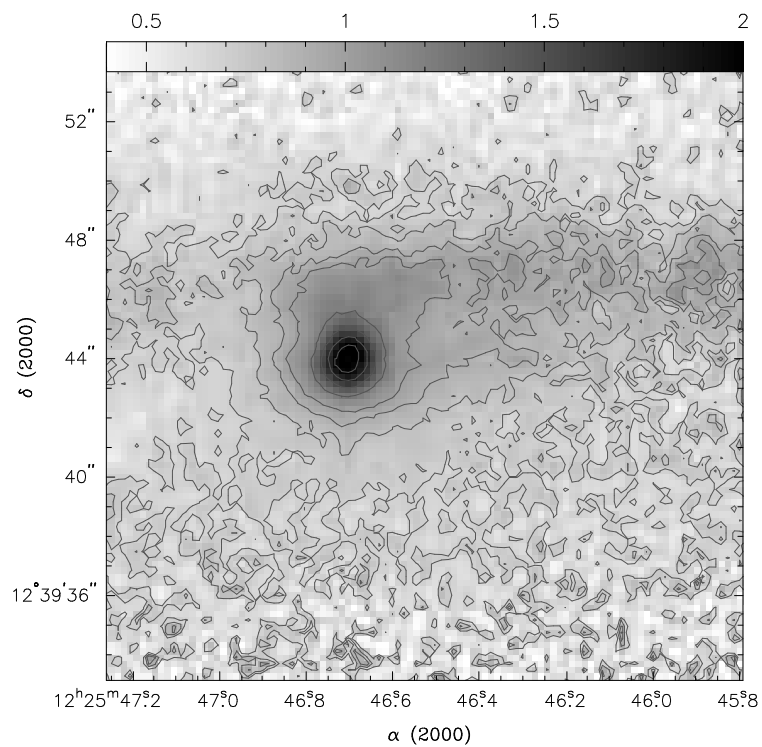


Figura 4.27: Tons de cinza e contornos de J–K. Os tons de cinza estão em magnitudes. Os valores dos contornos são 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 e 2.0.

4.3 NGC 4945

4.3.1 H₂

A construção do mapa de H₂ foi feita subtraindo a imagem calibrada no filtro 2.144 μm (contínuo) da imagem no filtro 2.122 μm (linha + contínuo). A imagem no filtro 2.144 μm tem um seeing diferente da imagem no filtro 2.122 μm e para fazer o seeing das duas imagens se igualar foi necessário degradar a imagem no filtro 2.122 μm convoluindo-o com uma gaussiana elíptica de elipticidade 0.33, PA=135°, σ 1.6 pixels e extensão da gaussiana igual a 2 σ. Devido, provavelmente, ao forte avermelhamento no núcleo este aparece mais brilhante no filtro 2.144 μm mascarando assim a emissão de linha no núcleo. Esse efeito é importante e provável pois usamos apenas o contínuo de um dos lados da linha sem ter como levar em conta os reais efeitos de avermelhamento.

Correção por avermelhamento "usando perturbações em primeira ordem"

Para corrigir o mapa de H₂, consideramos o avermelhamento como proporcional às diferenças no mapa de cor J–K em relação a uma cor (J–K)₀. O mapa J–K é na verdade usado na forma da razão $\frac{Fluxo_K}{Fluxo_J} = RAZAO_{KJ}$. Com essa abordagem só precisamos procurar pela constante de proporcionalidade P tal que a imagem da linha tenha valores de sinal positivo nas regiões em que não tinha com a mínima alteração da morfologia da imagem.

A correção proposta tem a seguinte forma

$$H_{2corr} = FLUX_{2.122} - FLUX_{2.144} [1 + P (RAZAO_{KJ} - 1)] \quad (4.1)$$

A imagem $RAZAO_{KJ}$ foi construída com imagens calibradas em fluxo e ambas foram degradadas para terem o mesmo seeing da imagem no filtro 2.144 μm. A gaussiana usada nas bandas J e K tem, respectivamente, PA=135° (em relação ao eixo x), razão axial 0.33, σ=1.75 pixels e extensão da gaussiana igual a 2.6 pixels e PA=135° (em relação ao eixo x), razão axial 0.33, σ=2 pixels e extensão da gaussiana igual a 3 pixels. Essa imagem-razão foi então normalizada a 1.

A correção adiciona a 1 a multiplicação por P das diferenças da imagem-razão com relação a 1. Isto significa amortecer as variações da imagem diferença com relação a média. Esta correção é, então, multiplicada pela imagem no filtro 2.144 de forma a diminuir o fluxo em 2.144 μm nas regiões com índice J–K maior. A constante P encontrada foi -0.08.

Na figura 4.28 vemos o resultado da correção. Além de termos H₂ estendido ao longo do eixo maior da galáxia (direção NE↔SW) por ~ 5'' nas duas direções, vemos H₂ se estendendo por ~ 5'' a partir da linha que traça o eixo maior da galáxia na direção NW e se estendendo por ~ 2'' a partir desta linha na direção SE.

O fluxo integrado em uma abertura circular, de 5'' de raio é 3.08×10^{-11} erg s⁻¹ cm⁻².

4.3.2 [Fe II]

Construímos o mapa de [Fe II] subtraindo a imagem calibrada na banda H da imagem calibrada no filtro 1.644 μm. Em virtude das diferenças nos seeings, antes da subtração foi necessário convoluir a imagem na banda H com uma gaussiana elíptica com σ 1.703 pixels, PA 148° em relação ao eixo x , razão axial 0.85 e extensão da gaussiana igual a 1.8 pixels.

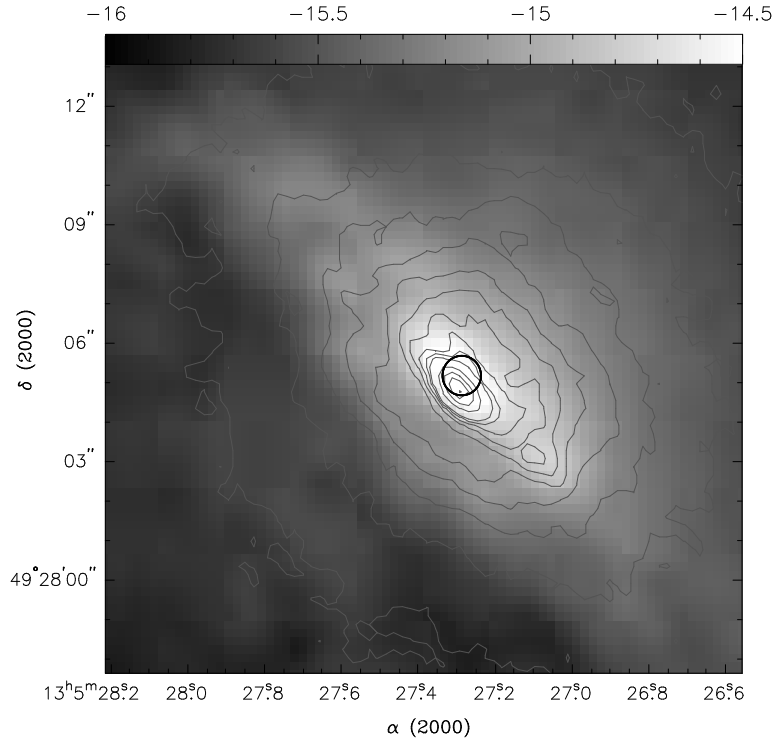


Figura 4.28: Contornos da imagem de H_2 (filtro 2.12) sobrepostos a imagem do contínuo calibrado em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. Os valores dos contornos são, nas mesmas unidades, 10 elevado nas potências -13.998, -13.996, -13.994, -13.992, -13.99, -13.988, -13.986, -13.984, -13.982, -13.98, -13.97, -13.96, -13.95 e -13.941.

Na figura 4.29 apresentamos os contornos do mapa de [Fe II] sobrepostos a imagem na banda H (contínuo). Vê-se [Fe II] estendido na direção NW por $\sim 6''$. A $\sim 1''.5$ do núcleo na direção NW há uma componente alongada se estendendo por $\sim 10''$ na direção NE \leftrightarrow SW (mais extensa na direção NE do que na direção SW).

O fluxo integrado em uma abertura circular de raio $1''.29$ é $2.06 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ e em uma abertura circular de raio $6''$ o fluxo é $1.26 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$.

4.3.3 Contínuo

Apresentamos as imagens J, H e K calibradas em brilho superficial nas figuras 4.30, 4.31 e 4.32 respectivamente.

As três imagens mostram maior brilho no lado NW. No lado SE, o brilho é mais baixo em média e com distribuição irregular devido às bandas de poeira, indicando que este último deve ser o lado mais próximo da galáxia.

Fotometrias de abertura

Comparamos as fotometrias de abertura de Moorwood & Glass (1984) com as obtidas com nossos dados na tabela 4.3 e encontramos que nossos valores de J estão ~ 0.6 magnitudes mais brilhantes nas duas aberturas comparadas. Entretanto em H e K os valores mostram melhor concordância.

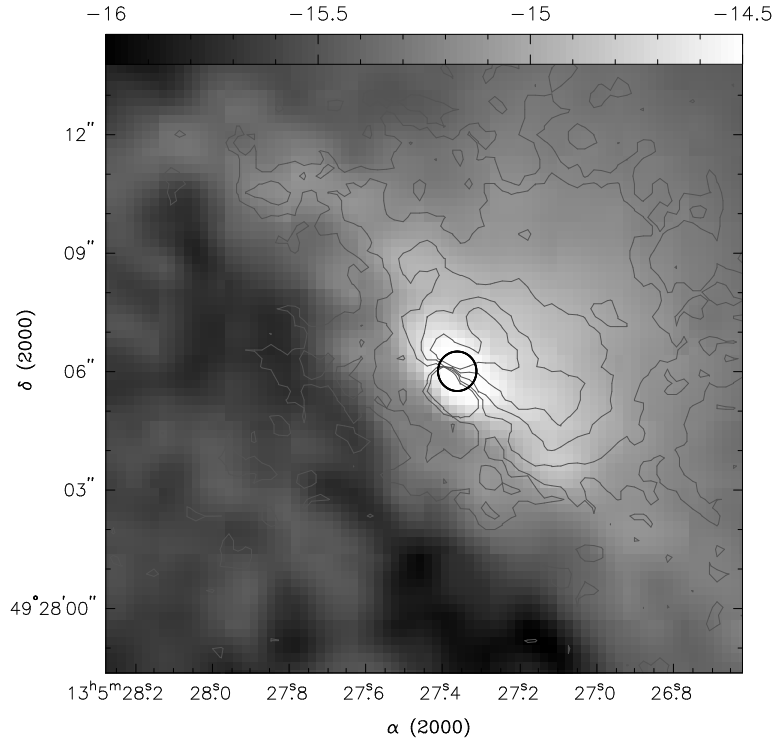


Figura 4.29: Contornos de [Fe II] sobrepostos aos tons de cinza do contínuo (banda H) calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. Os tons de cinza estão em escala logarítmica. O desvio padrão do céu σ é $7 \times 10^{-18} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. Os contornos do [Fe II] são 3σ , 6σ , 12σ , 18σ e 24σ .

Vemos discordâncias nas cores da ordem de 0.6 magnitudes nas cores J–H e J–K devido aos desvios em J.

Banda	Moorwood & Glass		nossa	
	6''	18''	6''	18''
J	12.7	10.8	12.12	10.21
H	10.7	9.15	10.74	9.35
K	9.34	8.12	9.49	8.38
J–H	2	1.65	1.38	0.86
H–K	1.36	1.03	1.25	0.97
J–K	3.36	2.68	2.63	1.83

Tabela 4.3: Comparação das magnitudes e cores deste trabalho com as de Moorwood & Glass (1984).

Mapas de cor

Nas figuras 4.33, 4.34 e 4.35 mostramos, respectivamente, as imagens nas cores J–H, H–K e J–K. Nas três o núcleo aparece como uma estrutura alongada na direção do eixo maior da galáxia e sempre com o maior índice de cor da imagem.

No mapa de cor J–H vêem-se mais claramente as estruturas do plano da galáxia. Inúmeros nós circulares ou elípticos com diâmetros $\sim 1''$ e cores mais vermelhas do que a vizinhança povoam

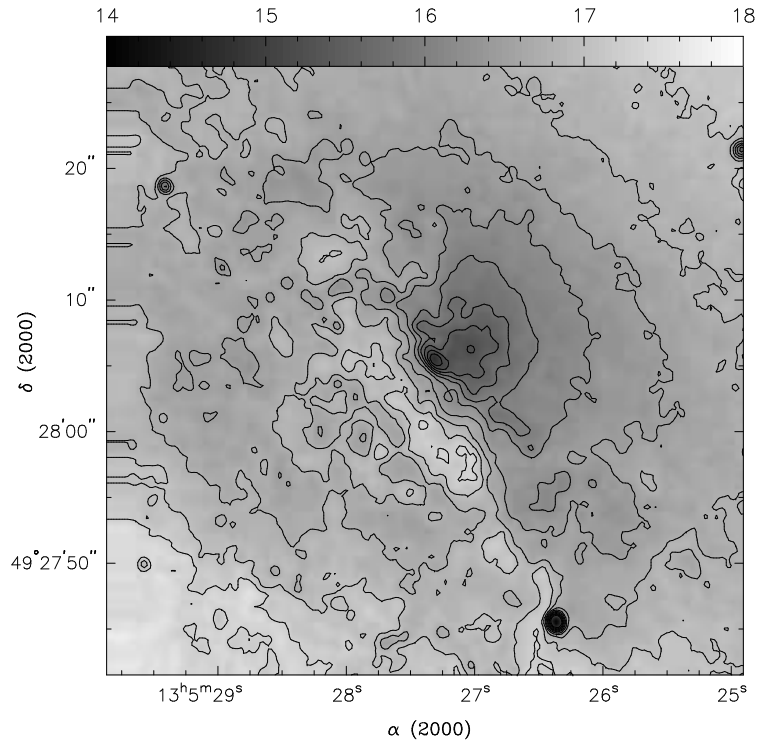


Figura 4.30: Tons de cinza e contornos da imagem no filtro J calibrada em brilho superficial. Os contornos tem valores variando entre 15 e 17.25 mag/''², com incremento de 0.25.

o plano da galáxia nas proximidades do núcleo concentrando-se preferencialmente a SE do plano formando uma faixa com aproximadamente 4'' de largura incluindo o núcleo. Existe uma faixa paralela ao plano da galáxia afastada do núcleo na direção SE por aproximadamente 4'' com índice $J-H < 0.6$ com largura de aproximadamente 2''.

No mapa H-K os valores dos índices de cor são, excetuando o núcleo, mais uniformes na faixa central de 4'' do que os valores de J-H, não se observando os nós vermelhos com tanto contraste nem a faixa azul observada no últimos mapa de cor.

Em J-K também não vemos a faixa mais azul vista em J-H. Vemos uma região com nós similares aos encontrados em J-H formando uma faixa paralela ao plano da galáxia com largura de aproximadamente 4''

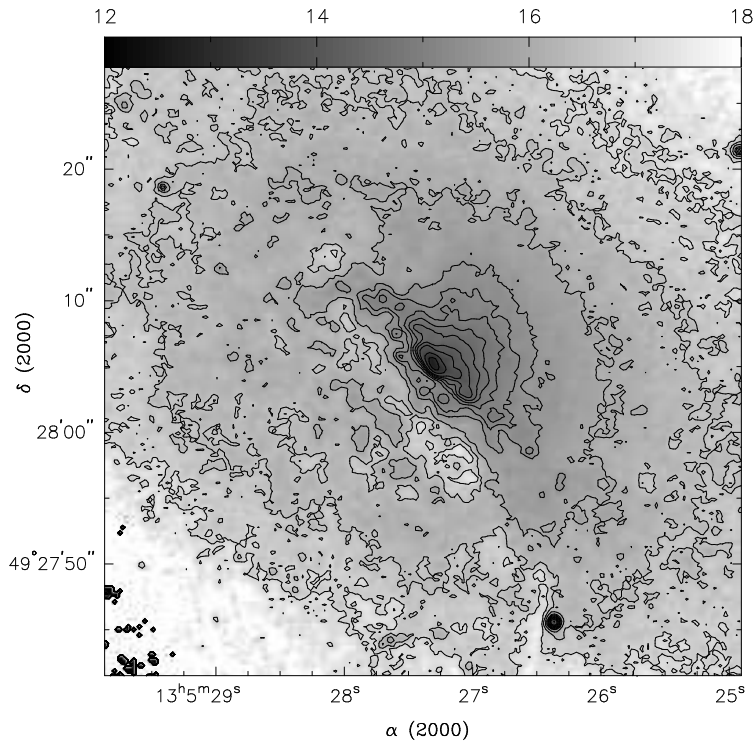


Figura 4.31: Tons de cinza e contornos da imagem no filtro H calibrada em brilho superficial. Os valores dos contornos são 13, 13.5, 14, 14.25, 14.5, 14.75, 15, 15.25, 15.5, 16, 16.5 e 17.

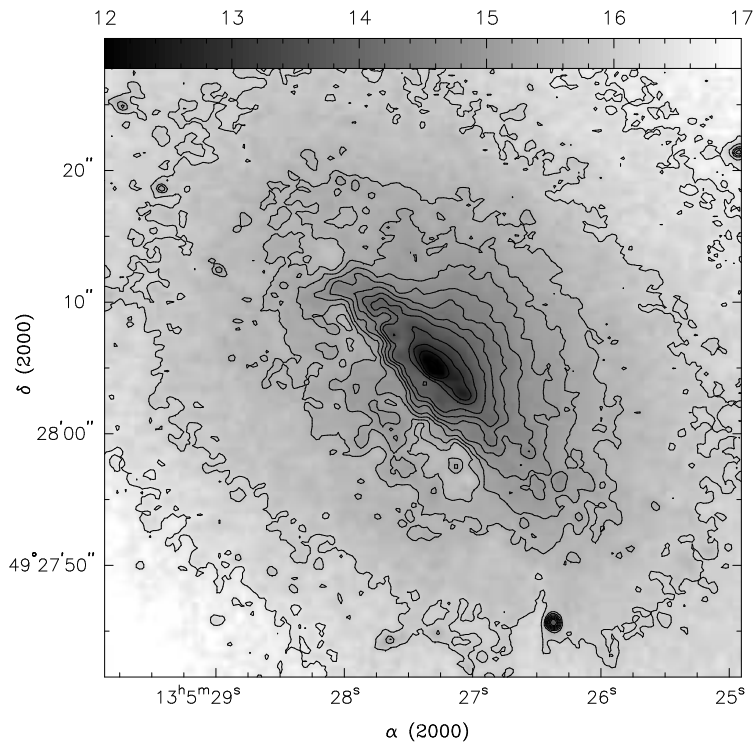


Figura 4.32: Tons de cinza e contornos da imagem no filtro K calibrada em brilho superficial. Os valores dos contornos são 11.5, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.25, 14.5, 14.75, 15, 15.25, 15.5, 16 e 16.5

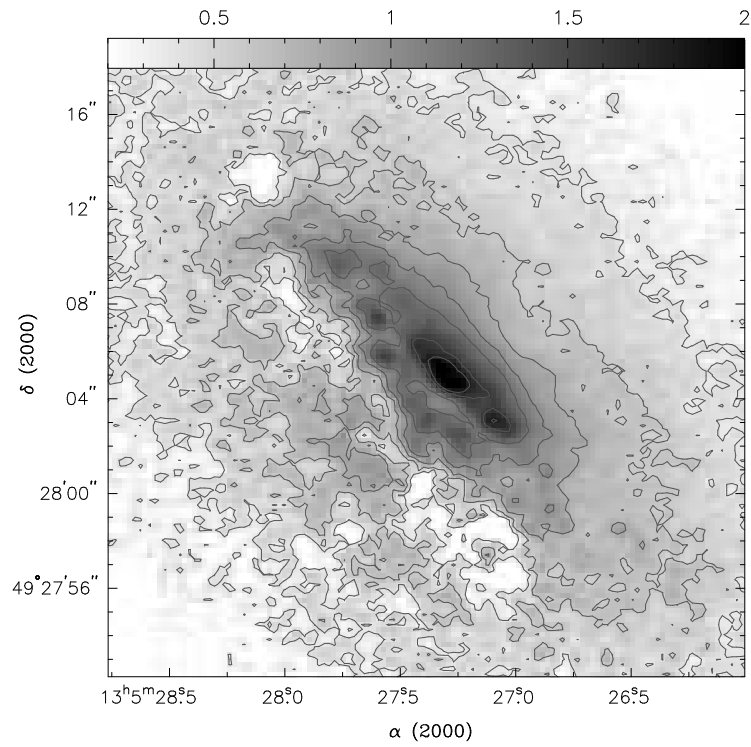


Figura 4.33: Tons de cinza e contornos de J–H calibrados em magnitude. Os contornos tem valores variando entre 0.4 e 1.8 magnitudes, com incremento de 0.2.

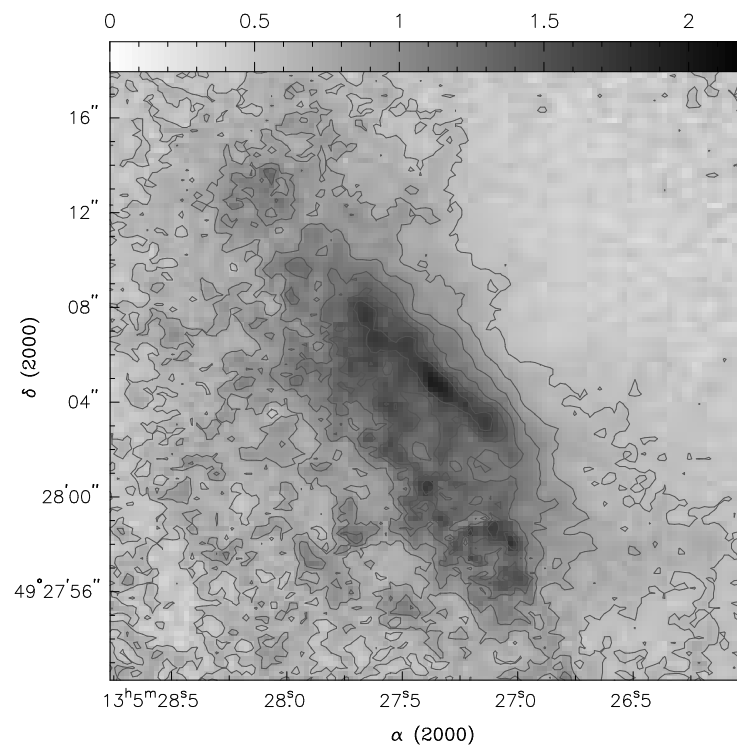


Figura 4.34: Tons de cinza e contornos de H–K calibrados em magnitude. Os contornos tem valores variando entre 0.6 e 1.6 magnitudes, com incremento de 0.2.

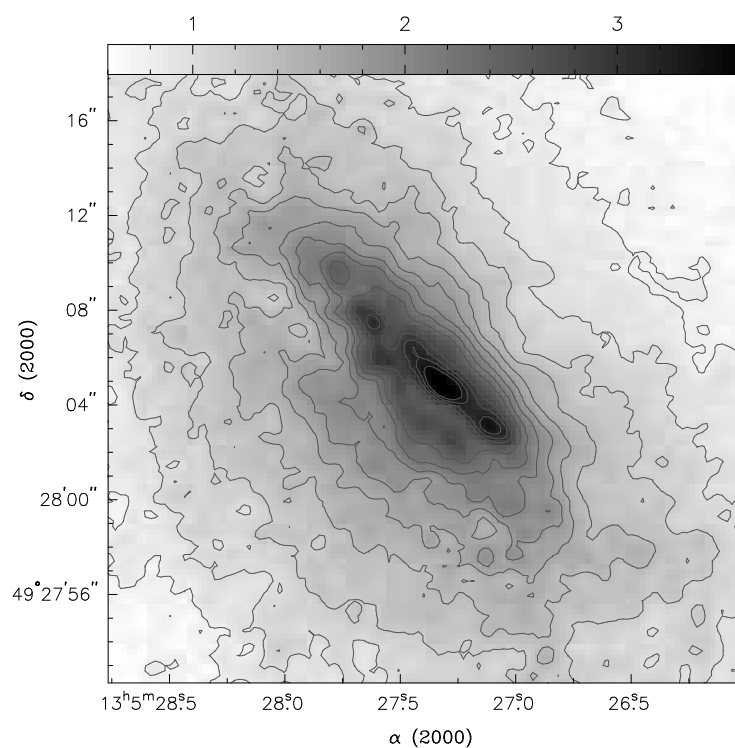


Figura 4.35: Tons de cinza e contornos de J–K calibrados em magnitude. Os contornos tem valores variando entre 0.8 e 3.4 magnitudes, com incremento de 0.2.

4.4 NGC 5252

4.4.1 [Fe II]

A imagem em [Fe II] foi construída subtraindo a imagem na banda J (contínuo) calibrada em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ da imagem no filtro $1.28 \mu\text{m}$ calibrada nas mesmas unidades. O resultado é mostrado na figura 4.36.

Observa-se uma geometria alongada na direção SE↔NW, $\text{PA} \sim -45^\circ$ com extensão de $2''.5$ (1.1 kpc na galáxia) na direção NW a partir do núcleo e extensão de $2''.1$ (0.97 kpc na galáxia) na direção SE a partir do núcleo.

O fluxo integrado em uma abertura circular de raio $1''$ é $2.9 \times 10^{-15} \text{ erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ e em uma abertura circular de raio $2''.5$ é $1.1 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$.

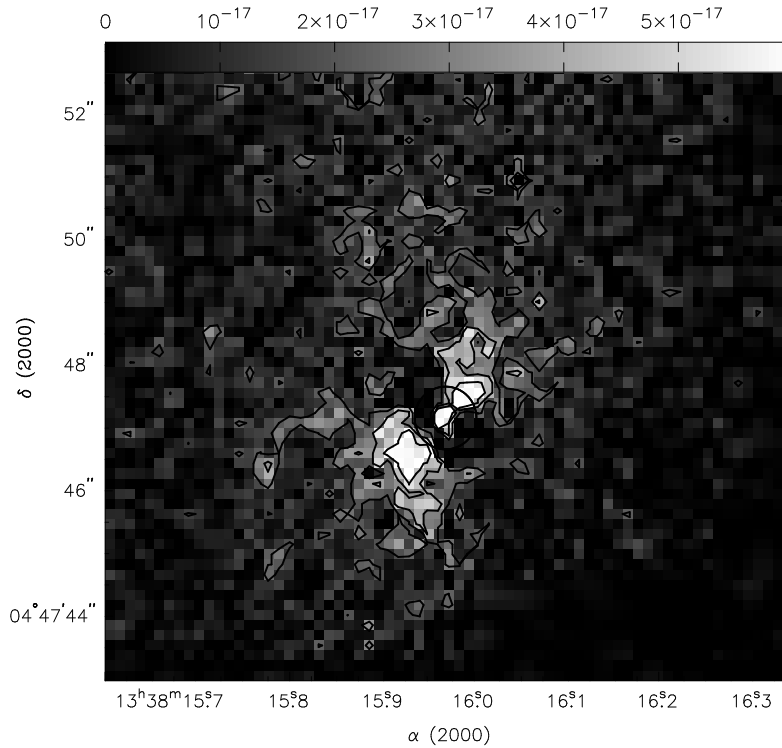


Figura 4.36: Tons de cinza e contornos de [Fe II] calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. O σ do céu vale 6×10^{-18} . Os níveis são 3σ , 6σ e 9σ .

4.4.2 H₂

A imagem em H₂ foi construída subtraindo a imagem no filtro $2.144 \mu\text{m}$ (contínuo) da imagem no filtro $2.166 \mu\text{m}$. Antes de ser subtraída a imagem em $2.144 \mu\text{m}$ teve que ser convoluída com uma gaussiana circular de largura 0.9 pixels truncada a uma distância igual a 4 vezes essa largura. Tal convolução é requerida para igualar a PSF das imagens nos dois filtros. O resultado é mostrado na figura 4.37.

Observa-se somente um pequeno nó não resolvido a NE do núcleo contendo pixels com valores acima de 3 vezes o desvio padrão do céu.

O fluxo integrado em uma abertura circular de raio igual a $1''.5$ é 1.1×10^{-15} erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$.

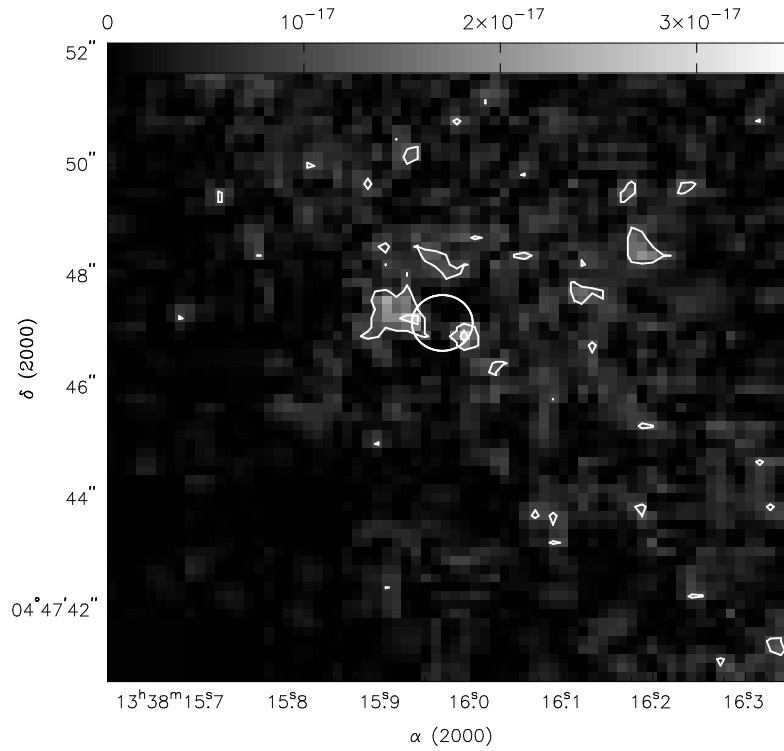


Figura 4.37: Tons de cinza e contornos de H $_2$ calibrados em erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$ pix $^{-1}$. O σ do céu vale 3.5×10^{-18} . Os níveis são 3σ e 6σ .

4.4.3 Contínuo

Na figura 4.38 apresentamos a imagem em banda larga, calibrada para esta galáxia.

Da imagem em J vemos que sua morfologia é a de uma típica S0. Pode-se mencionar, ainda a pequena mudança de orientação das isofotas nucleares em relação às isofotas mais externas.

As faixas que aparecem são falhas devidas a não subtração de uma imagem de céu (foi subtraído somente um valor constante).

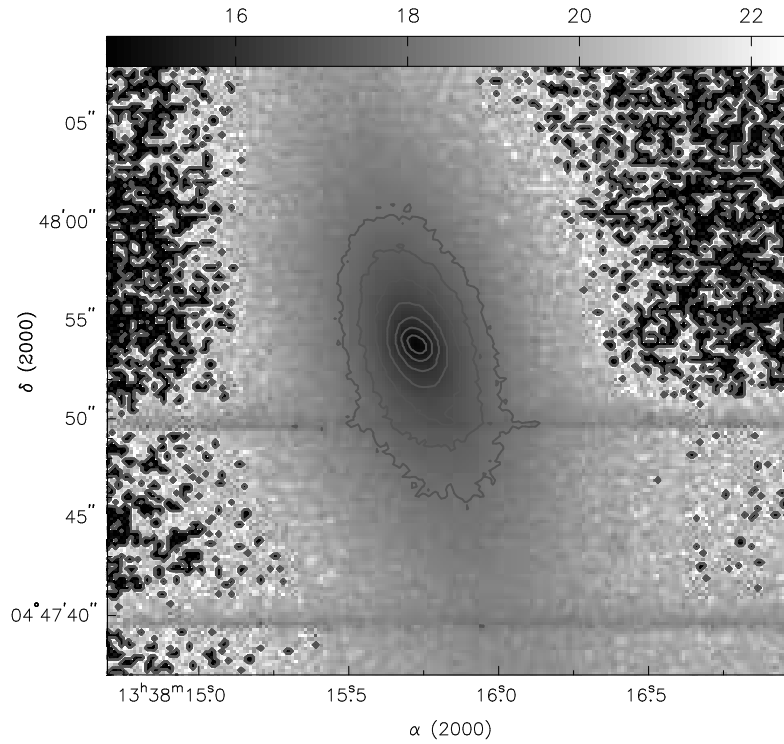


Figura 4.38: Tons de cinza e contornos da banda J calibrados em brilho superficial. Os contornos variam entre 14.5 e 18 mag/''², com incremento de 0.5.

4.5 ESO 428-G14

4.5.1 [Fe II]

A imagem na linha [Fe II] foi criada subtraindo a imagem na banda J da imagem no filtro 1.257 μm . Na figura 4.39 vemos o resultado.

Observamos uma região alongada na direção SE↔NW, PA \sim -50° com extensão de 1''.7 (156 pc na galáxia) a partir do núcleo na direção NW e extensão de 4''.9 (450 pc na galáxia) a partir do núcleo na direção SE.

Extraímos medidas de fluxo integrado em 1''.7 e 5'' e encontramos respectivamente 1.85×10^{-14} erg s⁻¹ cm⁻² e 4.43×10^{-14} erg s⁻¹ cm⁻².

4.5.2 H₂

A imagem na linha H₂ foi feita subtraindo a imagem no filtro 2.166 μm da imagem no filtro 2.122 μm . O resultado é mostrado na figura 4.40.

Observamos emissão não resolvida no núcleo e em uma região a 1''.5 ao sul do núcleo. Observe-se, também, emissão estendida por 2''.1 na direção NW.

Encontramos um fluxo integrado de 1.1×10^{-15} erg s⁻¹ cm⁻² em uma abertura circular de raio 1'' e um fluxo integrado de 1.4×10^{-15} erg s⁻¹ cm⁻² em uma abertura circular de raio 2''.1.

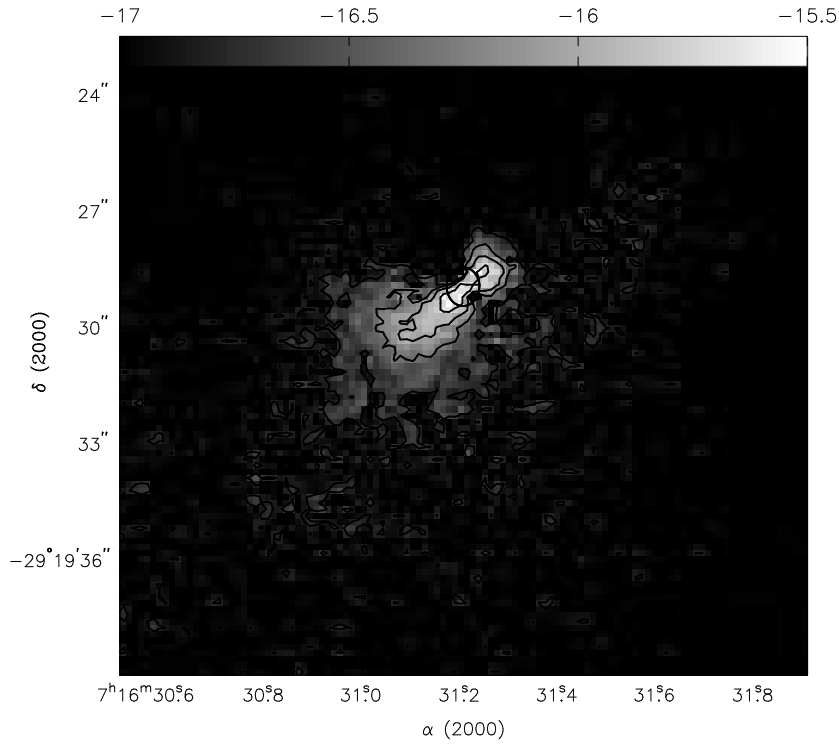


Figura 4.39: Tons de cinza e contornos de [Fe II] calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. O σ do céu vale 5×10^{-18} . Os níveis são 3σ , 9σ , 18σ e 36σ .

4.5.3 Contínuo

Nas figuras 4.41 e 4.42 apresentamos as imagens em banda larga, calibradas.

As duas imagens mostram uma galáxia sem estruturas, consistente com a classificação SA0⁺. Em J vemos algumas estrelas no campo. Em K as isofotas mais externas mostram os efeitos da curvatura do céu devida a subtração de uma constante e não de um céu real durante a redução.

Mapa de cor J–K

Na figura 4.43 apresentamos o mapa de cor J–K calibrado.

O mapa de cor mostra que o lado SW é mais azul que o lado NE, sugerindo que o último é o lado mais próximo da galáxia. A partir do núcleo e se projetando na direção norte vemos um prolongamento com índice de cor J–K > 1.2, que traça, possivelmente, uma faixa de poeira.

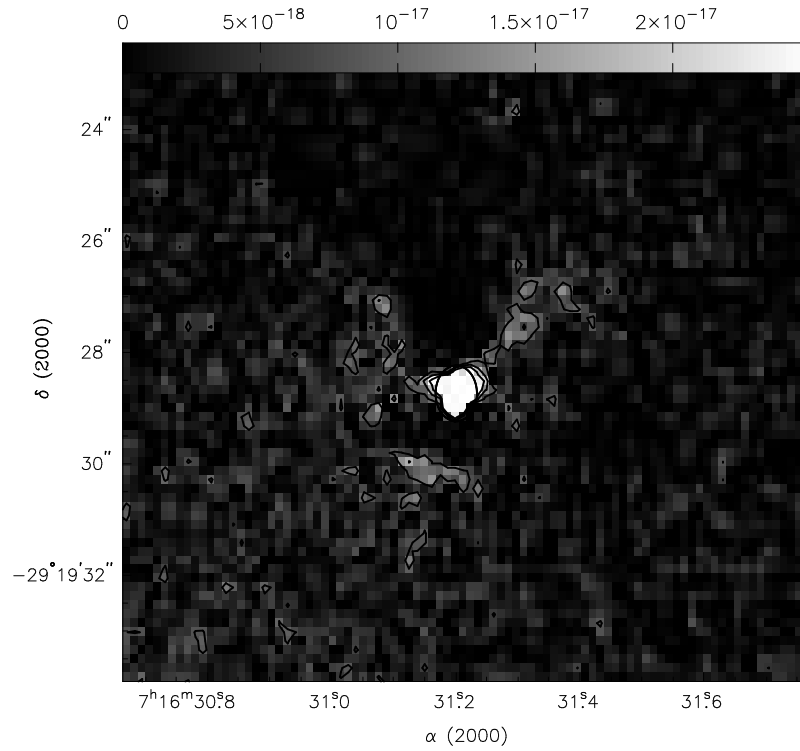


Figura 4.40: Tons de cinza e contornos de H_2 calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. O σ do céu vale 2.5×10^{-18} . Os níveis são 3σ , 6σ e 9σ .

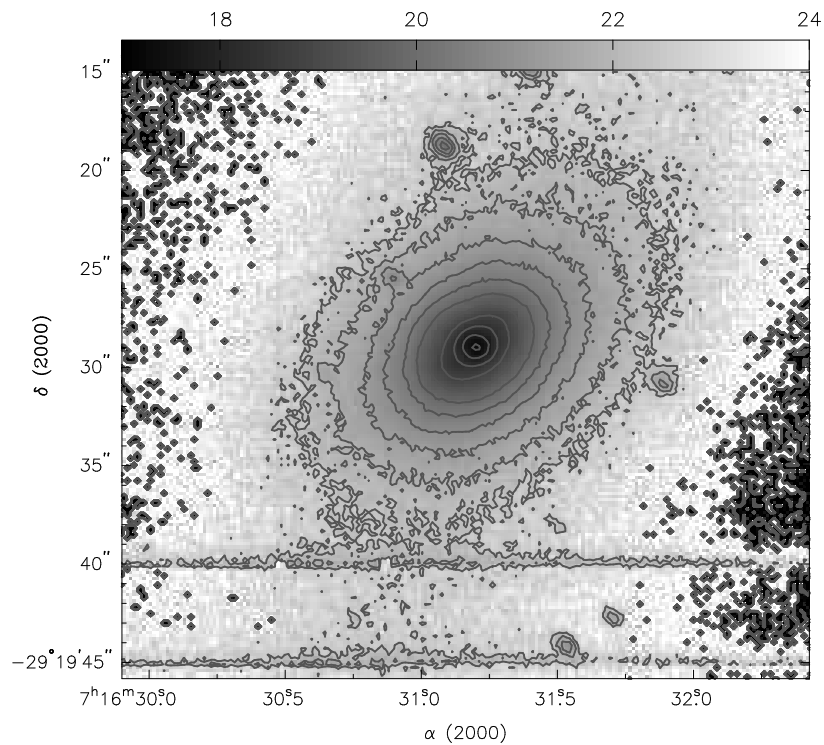


Figura 4.41: Tons de cinza e contornos da banda J calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 17.3 a 22.3 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5.

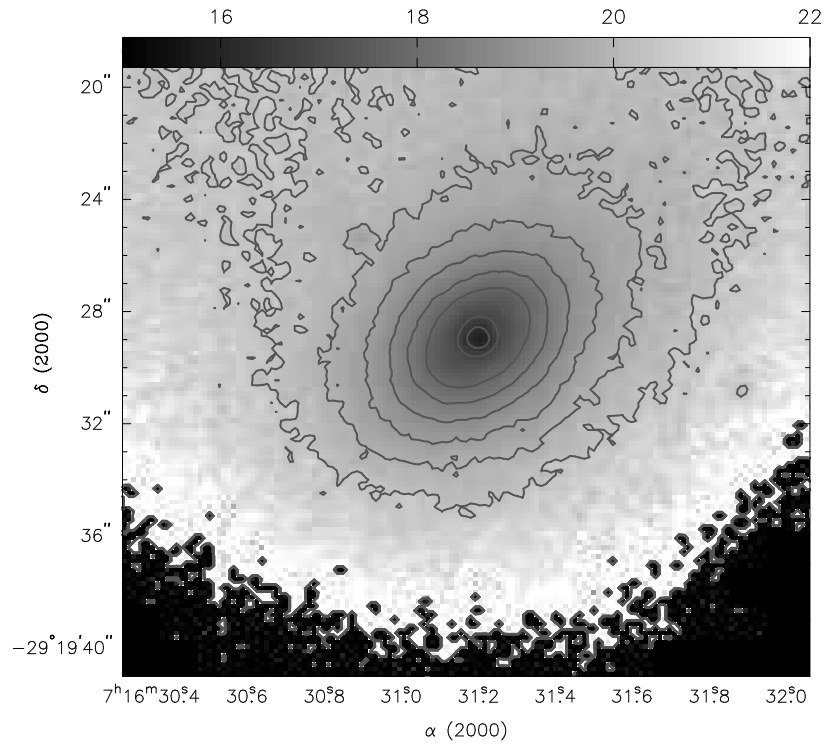


Figura 4.42: Tons de cinza e contornos da banda K calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 16.3 a 20.3 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5.

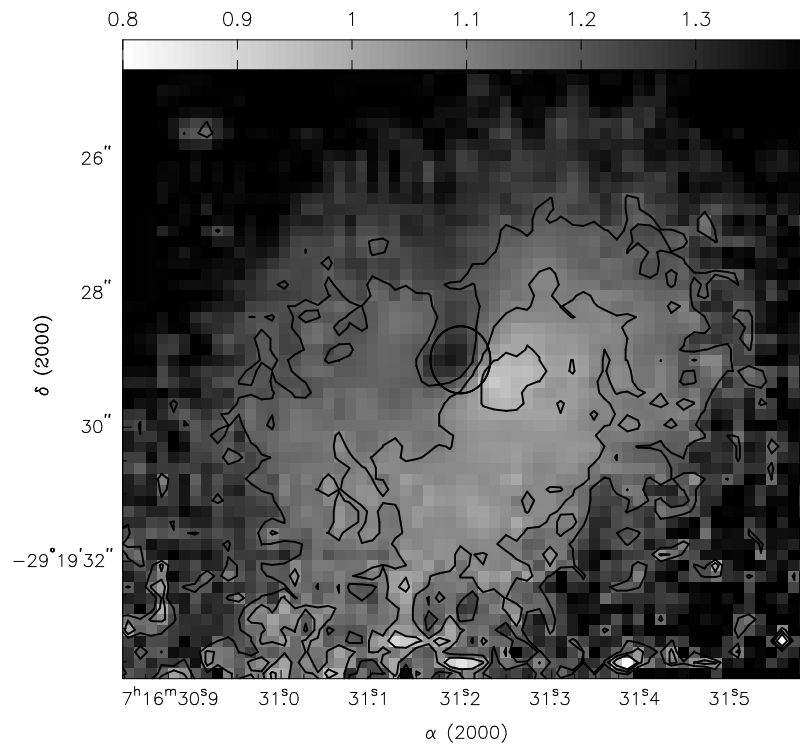


Figura 4.43: Tons de cinza e contornos de J–K calibrados em magnitude. Os contornos são 1.0, 1.1 e 1.2 magnitudes.

4.6 NGC 1566

4.6.1 [Fe II]

Construímos a imagem na linha [Fe II] subtraindo a imagem na banda J da imagem no filtro $1.257 \mu\text{m}$. Antes de subtrair a banda J foi necessário convoluir esta imagem com uma gaussiana elíptica de largura igual a 2.7 pixels ao longo do eixo maior, com elipticidade 0.3, P.A. da elipse igual a 120° contados a partir do eixo x em direção anti-horária e extensão da gaussiana igual a 2 pixels. O resultado é mostrado na figura 4.44.

Nesta figura vê-se as isofotas alinhadas na direção S↔N (PA $\sim 5^\circ$) se estendendo $3''$ (250 pc na galáxia) tanto na direção N como na direção S.

Medidas de fluxo integrado em aberturas circulares com raios de $1''.5$ e $3''$ fornecem, respectivamente, $3.8 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ e $7.8 \times 10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

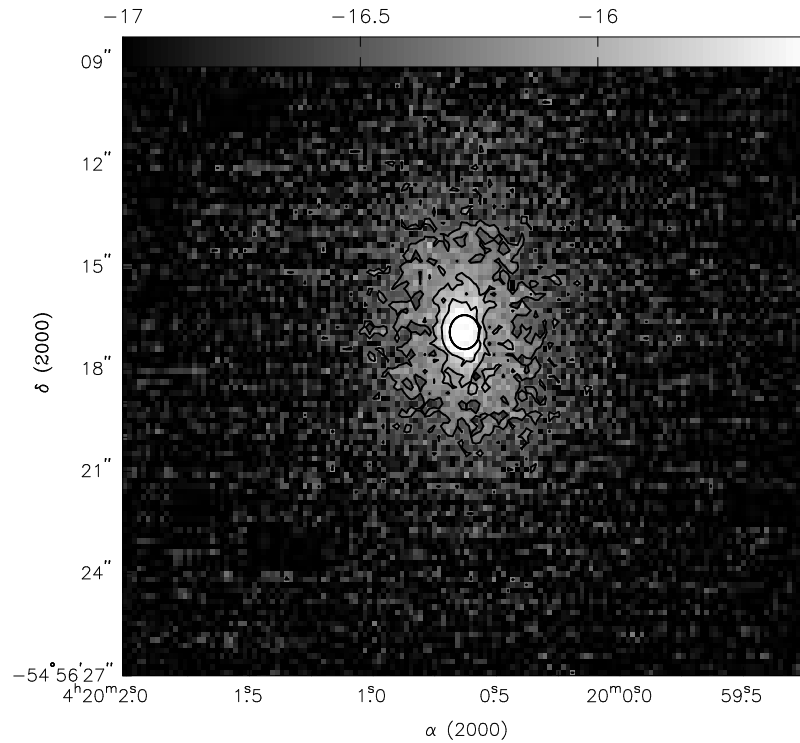


Figura 4.44: Tons de cinza e contornos de [Fe II] calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ pix}^{-1}$. O σ do céu vale 1.4×10^{-17} . Os níveis são 3σ , 6σ e 12σ .

4.6.2 H₂

A construção da imagem na linha H₂ foi feita subtraindo a imagem na banda Ks da imagem no filtro $2.144 \mu\text{m}$. Foi necessário convoluir a imagem no filtro $2.144 \mu\text{m}$ com uma gaussiana circular de largura 2.56 pixels, com extensão de 4 vezes esse valor para fazer a PSF das estrelas nas duas imagens se igualarem. Além de degradar a imagem no filtro $2.144 \mu\text{m}$, foi necessário escalonar a imagem na banda Ks multiplicando-a pelo fator 0.6323 que foi obtido a partir de fotometria

de abertura de uma estrela com sinal/ruído alto nas duas bandas. O resultado aparece na figura 4.45.

Vemos uma estrela de campo plotada junto propositalmente para mostrar o resíduo da subtração das duas PSF's.

Além do resíduo da subtração das PSF's vemos emissão estendida por $8''$ na direção N \leftrightarrow S. A fotometria integrada fornece um fluxo de 3.44×10^{-14} erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$.

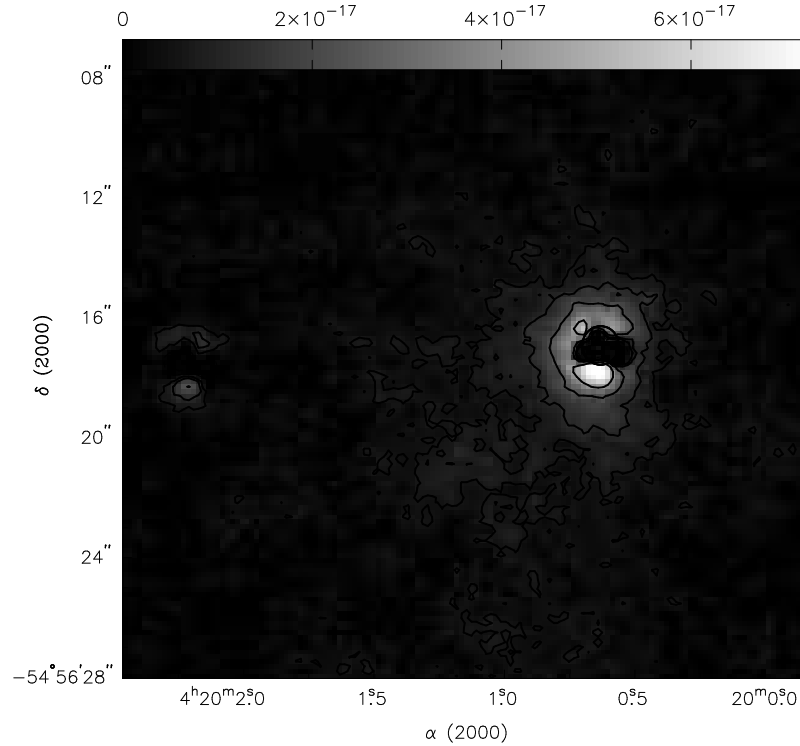


Figura 4.45: Tons de cinza e contornos de H $_2$ calibrados em erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$ pix $^{-1}$. O σ do céu vale 1.8×10^{-18} . Os níveis são -12σ , -3σ , 3σ , 6σ , 12σ e 24σ .

4.6.3 Contínuo

Nas figuras 4.46 e 4.47 apresentamos as imagens em banda larga calibradas.

Essa galáxia tem extensão de vários minutos de arco e a nossa imagem somente revela o seu bojo e insinua o início da barra. Uma estrela brilhante a E que serve como amostra do seeing da imagem.

Mapa de cor J–K

Apresentamos o mapa de cor J–K na figura 4.48. Vemos um gradiente de cor com cores mais avermelhadas a NW do que a SE, sugerindo que aquele é o lado mais próximo da galáxia. A estrutura mais vermelha é um pequeno anel incompleto circundando o núcleo a N-NW-SW que deve estar associado a poeira.

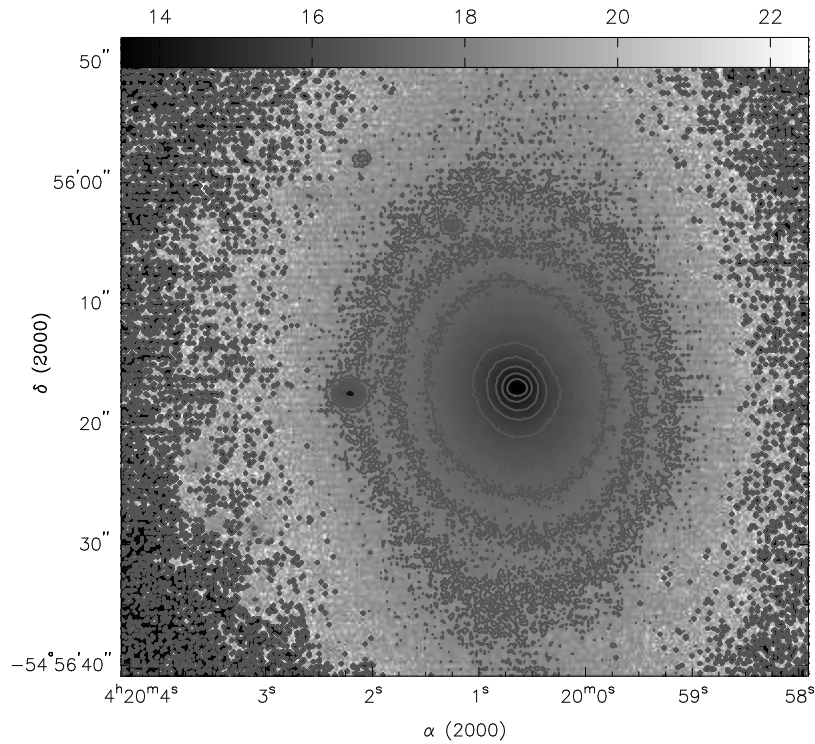


Figura 4.46: Tons de cinza e contornos da banda J calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 14 a 18 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5.

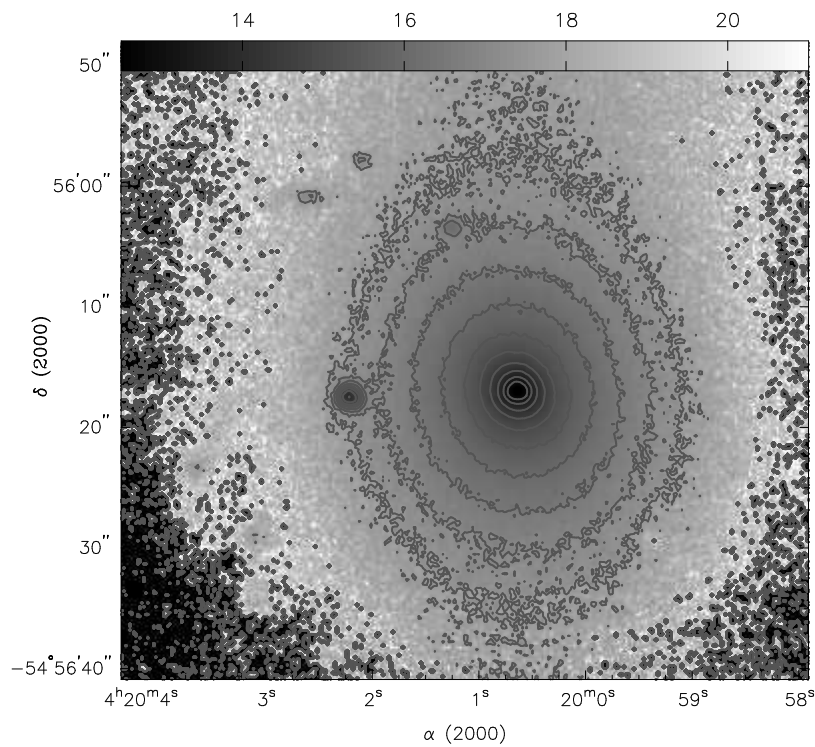


Figura 4.47: Tons de cinza e contornos da banda K calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 13 a 17.5 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5.

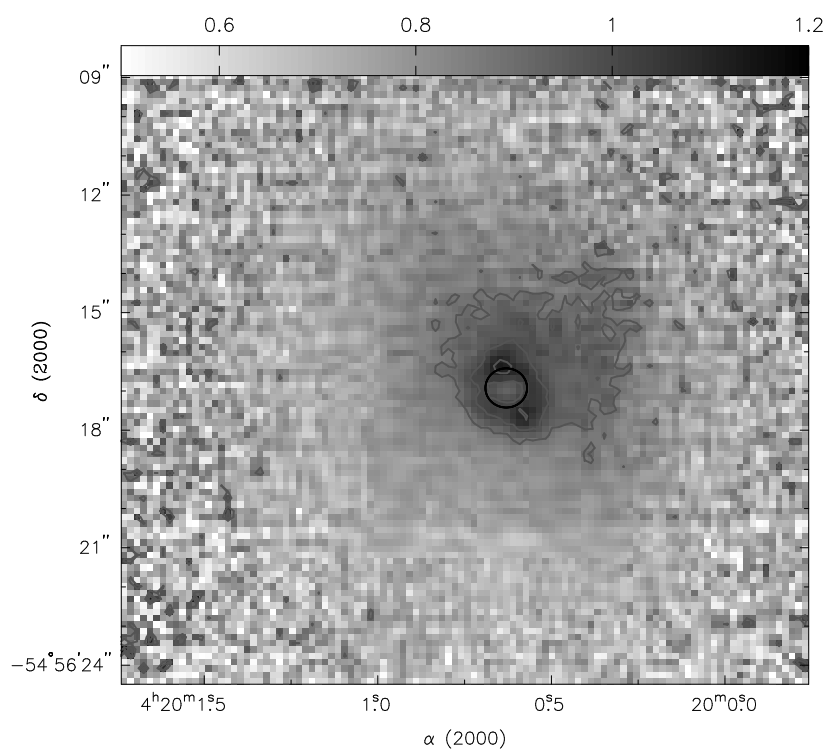


Figura 4.48: Tons de cinza e contornos de J–K calibrados em magnitude. Os contornos são 0.9, 1.0 e 1.1 magnitudes.

4.7 NGC 3393

4.7.1 H₂

A imagem na linha H₂ foi construída subtraindo a imagem no filtro 2.122 μm da imagem no filtro 2.144 μm . A subtração direta resulta em sinal negativo (!). Atribuímos isso a fraca emissão de H₂ e às incertezas nas constantes de calibração. Escalonando o contínuo multiplicando-o por 0.9 já é suficiente para dar conta deste efeito. O resultado é mostrado na figura 4.49.

A morfologia em H₂ apresenta uma região de emissão se estendendo desde o núcleo $\sim 1''$ na direção NE. Outra componente se estende a partir do núcleo $2''$ na direção SW.

Medidas de fluxo integrado nos fornecem $1.7 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ com uma abertura de $1''$ de raio e $5.9 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ com uma abertura de $2''$.

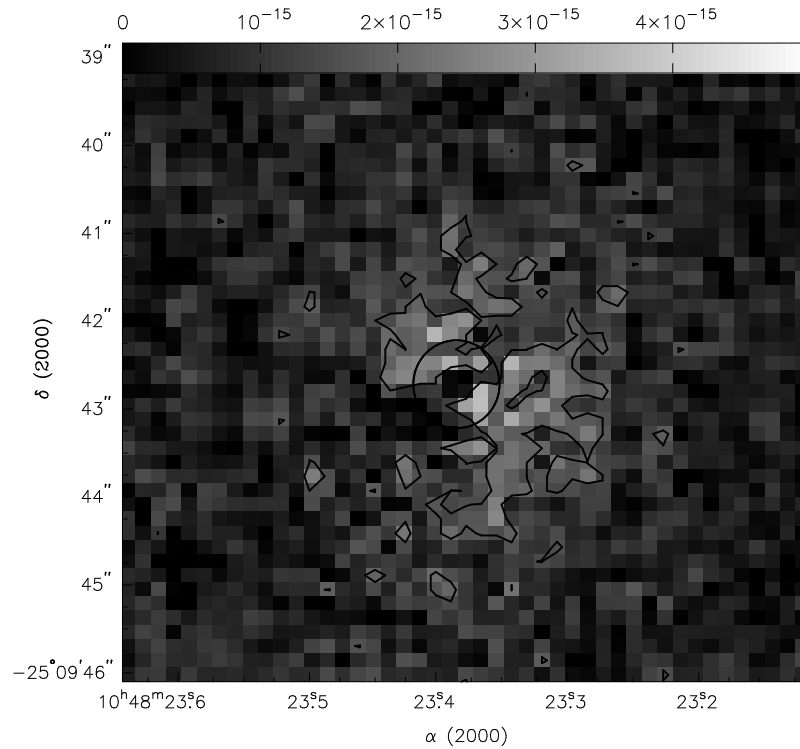


Figura 4.49: Tons de cinza e contornos de H₂ calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ pix}^{-1}$. O σ do céu vale 5×10^{-16} . O único nível desenhado é 3σ . Todos os outros tons estão abaixo de 6σ .

4.7.2 Contínuo

Na figura 4.50 apresentamos a imagem K, calibrada, para essa galáxia.

Os contornos mostram que há um ligeiro desvio entre o eixo maior das isofotas nucleares e isofotas mais externas. Observa-se o bojo e o início da barra.

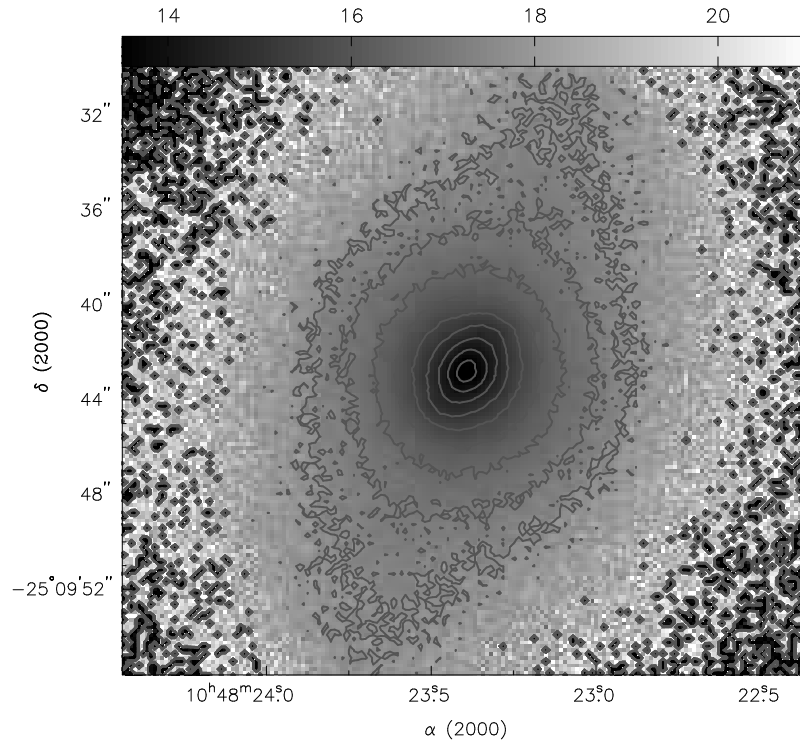


Figura 4.50: Tons de cinza e contornos da banda K calibrados em brilho superficial. Os contornos variam entre 13.5 e 17.5 mag/''², com incremento de 0.5.

4.8 NGC 5506

4.8.1 [Fe II]

Para construir a imagem na linha [Fe II] subtraímos primeiramente a imagem no filtro 1.06 μm e depois a imagem na banda J da imagem no filtro 1.257 μm . Verificamos que os dois contínuos possuem uma componente nuclear alongada ao longo de PA = 50°. Essa componente alongada no contínuo 1.06 μm acaba fazendo as isofotas mais internas do [Fe II] alongadas na direção -45°. Quando usamos o contínuo J obtemos uma estrutura similar a um duplo cone. O alongamento encontrado não parece ser um problema de seeing pois nenhuma convolução de gaussiana elíptica pareceu igualar adequadamente as PSF's. Problemas de guiagem também são pouco prováveis para os dois conjuntos de imagens. Acreditamos que o alongamento visto nos dois contínuos deva ser real embora a PSF no filtro 1.257 μm não mostre evidências de emissão estendida anisotrópica. Os resultados aparecem na figura 4.51 (usando o filtro 1.06 μm como contínuo) e 4.52 (usando a banda J como contínuo).

Vemos emissão estendida a 3'' do núcleo, em todas as direções, no mapa da figura 4.51 e estendida a 2'' preferencialmente nas direções NW e SE no mapa da figura 4.52. Entretanto, nesta última imagem obtemos muitas contagens negativas sugerindo efeitos de inconsistência entre as calibrações nos diferentes filtros.

Medidas de fluxos integrados em aberturas circulares, nos fornecem para a imagem na linha [Fe II] construída usando o filtro 1.06 μm como contínuo, 1.71×10^{-13} erg s⁻¹ cm⁻² em uma abertura de 2''5 de raio e 1.88×10^{-13} erg s⁻¹ cm⁻² em uma abertura de 3''5 de raio. Para a imagem na linha [Fe II] usando a banda J como contínuo obtemos valores negativos.

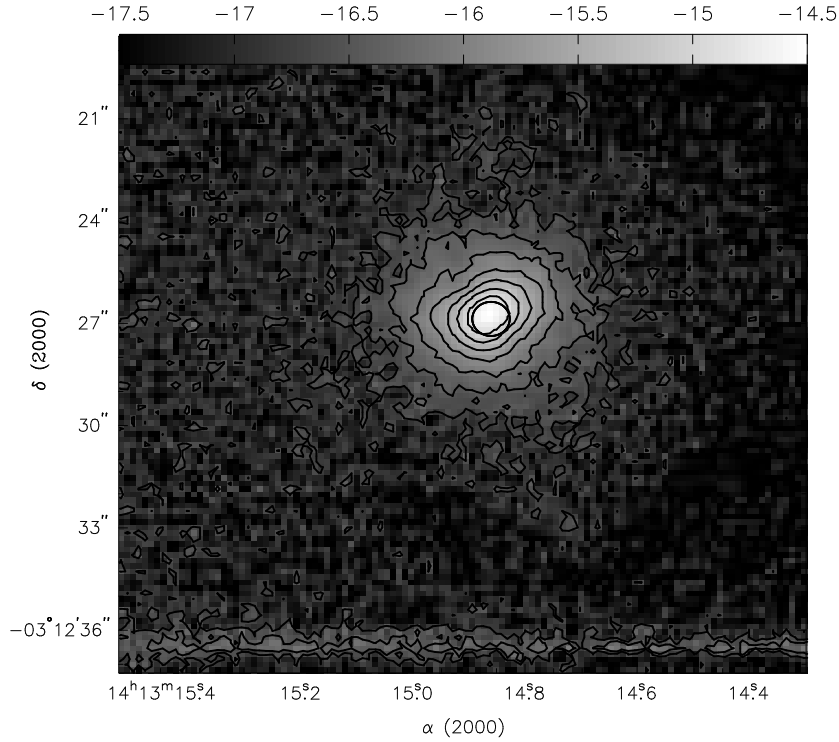


Figura 4.51: Tons de cinza e contornos de $[\text{Fe II}]$ calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. Imagem construída usando a imagem no filtro $1.257 \mu\text{m}$ como contínuo. O σ do céu vale 6×10^{-18} . Os níveis são 3σ , 6σ , 12σ , 24σ , 48σ , 96σ e 192σ .

4.8.2 H_2

A imagem na linha H_2 foi construída subtraindo a imagem na banda K+nd (banda K mais filtro de densidade neutra de 2 mag) da imagem no filtro $2.144 \mu\text{m}$. O resultado aparece na figura 4.53.

Observamos emissão estendida a $\sim 2''.5$ do núcleo em todas as direções com pequenos prolongamentos das isofotas nas direções $\text{PA} \sim -40^\circ$ e $\text{PA} \sim 40^\circ$.

Obtemos $7.5 \times 10^{-14} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ como fluxo integrado em fotometria de abertura com uma abertura de $1''$ de raio e $1.06 \times 10^{-13} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ em uma abertura de $2''.5$ de raio.

4.8.3 Contínuo

Nas figuras 4.54 e 4.55 apresentamos as imagens em banda larga calibradas.

Em J observa-se que as isofotas mais externas são achatadas a N e S devido à inclinação da galáxia e truncadas a E e W devido a uma faixa de absorção que atravessa de E a W. A região nuclear recebe menos influência da faixa de poeira quanto mais próximo ao núcleo se observa. Nas regiões próximas ao núcleo vemos a estrutura alongada na direção $\text{PA} \sim 45^\circ$ mencionada anteriormente.

Em K a emissão nuclear é tão intensa que impossibilita fazer uma imagem profunda o suficiente para revelar o disco da galáxia sem saturar o núcleo. Em K novamente vemos a estrutura alongada a $\text{PA} \sim 45^\circ$ vista em J e $1.06 \mu\text{m}$, confirmando que a mesma é real.

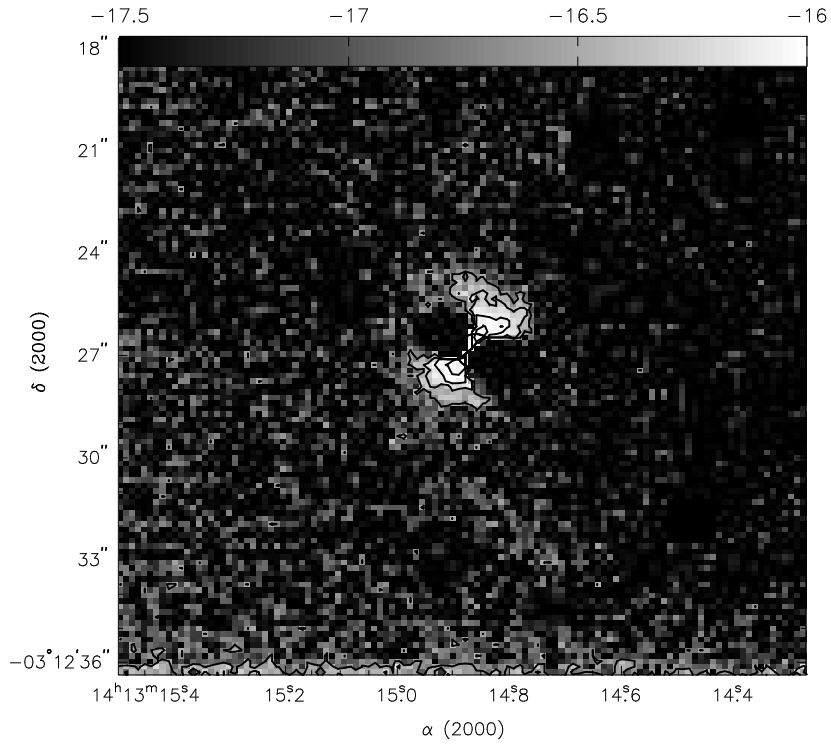


Figura 4.52: Tons de cinza e contornos de $[\text{Fe II}]$ calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. Imagem construída usando a imagem na banda J como contínuo. O σ do céu vale 7.5×10^{-18} . Os níveis são 3σ , 6σ , 12σ , 24σ .

Mapa de cor J–K

Apresentamos o mapa de cor J–K na figura 4.56

Devido a pouca profundidade com que foi imageada a banda K o mapa de cor J–K só nos traz informação da imagem nuclear, onde vemos uma estrutura alongada vermelha na direção S↔N se estendendo a $1''.5$ do núcleo a N e menos de $1''$ a S.

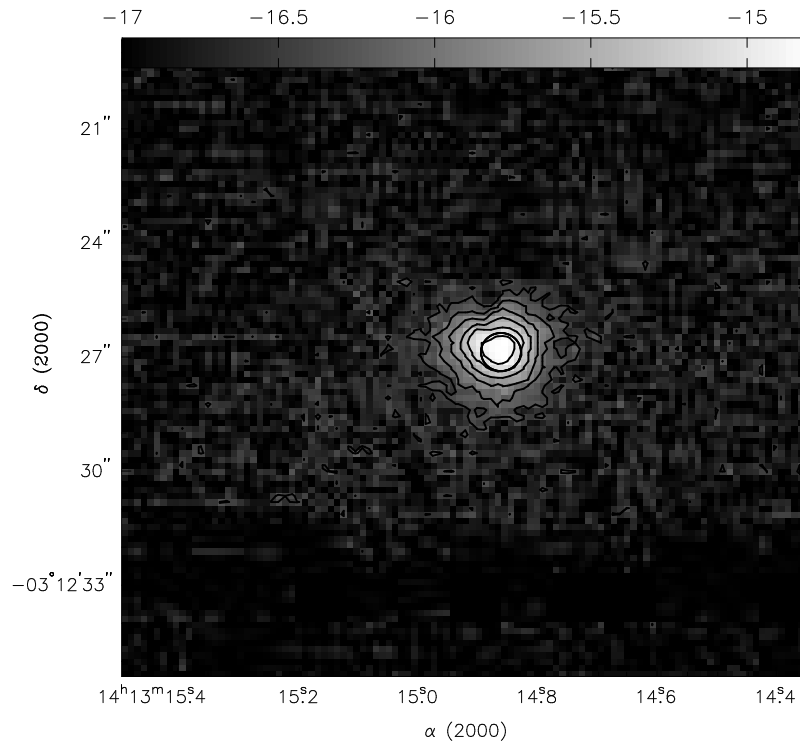


Figura 4.53: Tons de cinza e contornos de H_2 calibrados em $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{pix}^{-1}$. O σ do céu vale 1.2×10^{-17} . Os níveis são 3σ , 6σ , 12σ , 24σ , 48σ , 96σ .

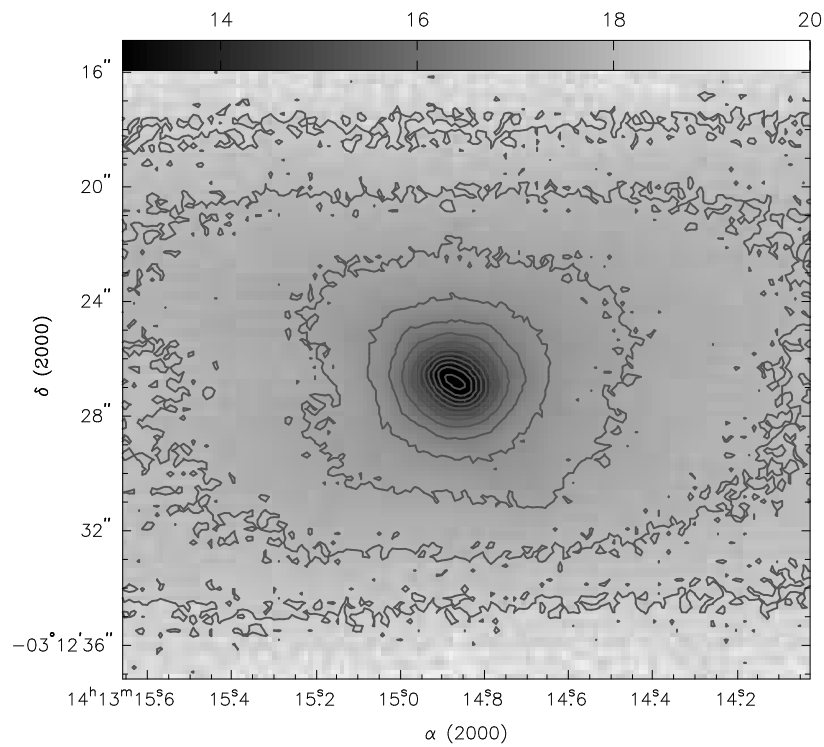


Figura 4.54: Tons de cinza e contornos da banda J calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 12.5 a 18.5 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5 .

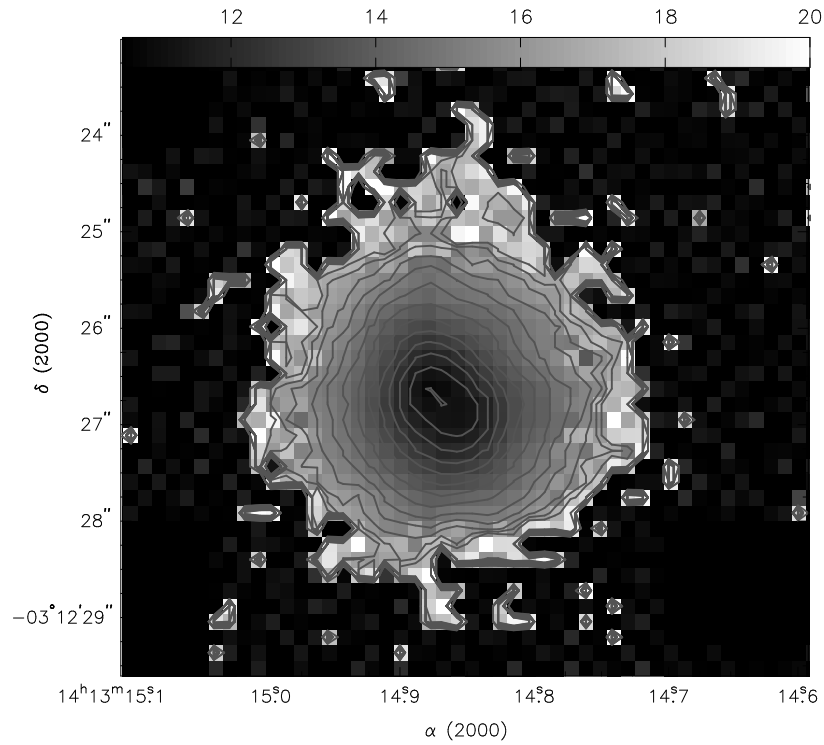


Figura 4.55: Tons de cinza e contornos da banda K calibrados em brilho superficial. Os contornos vão de 10 a 17 $\text{mag}/''^2$, com incremento de 0.5.

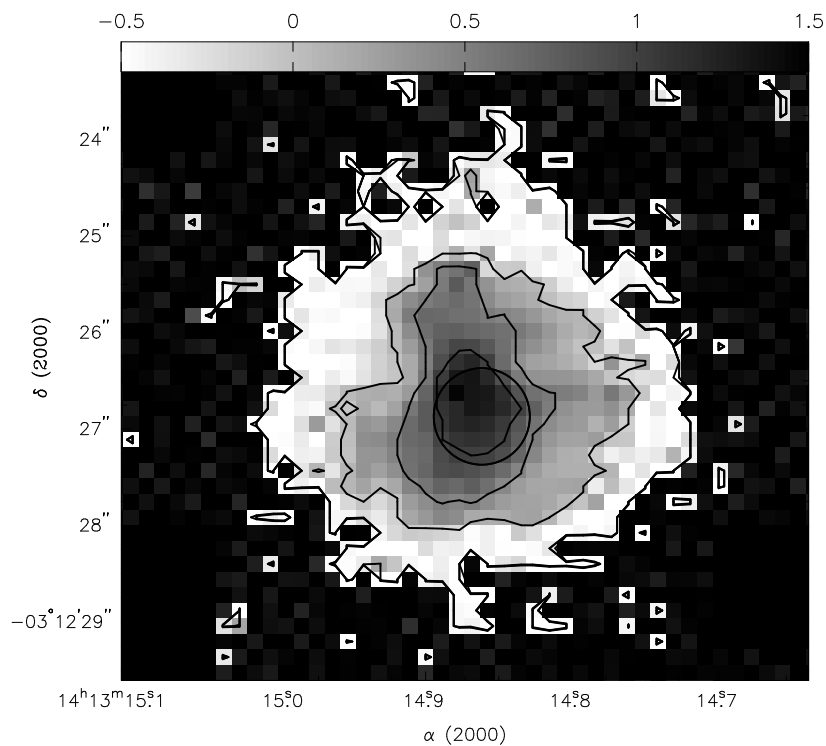


Figura 4.56: Tons de cinza e contornos de J–K calibrados em magnitude. Os contornos são 0, 0.5 e 1.0 magnitudes.

Capítulo 5

Discussão

5.1 Origem da emissão [Fe II]

Graham, Wright & Longmore (1987) encontraram no remanescente de supernova IC 443 uma razão de fluxo [Fe II] 1.644/Br γ 500 vezes maior do que na região H II da nebulosa de Orion. Isso os levou a propor o [Fe II] como prova para a existência de choques. As buscas por [Fe II] em AGN's mostram que a razão [Fe II]/Br γ tem valores intermediários entre o das regiões H II e o dos remanescentes de supernovas (Moorwood & Oliva 1988).

A excitação de [Fe II] é principalmente devida à colisão de elétrons. O potencial de ionização do Fe⁺ é 16.2 eV, portanto, muito baixo para sobreviver em uma região de hidrogênio completamente ionizado onde provavelmente encontraremos Fe em estágios mais altos de ionização. Essa linha deve, portanto, se originar em regiões de hidrogênio parcialmente ionizado onde Fe⁺ e e⁻ podem coexistir (Dennefeld & Péquignot 1983). Essas zonas são muito pequenas em regiões H II (ocorrem somente na borda entre as regiões de gás totalmente ionizado e gás neutro). Nos remanescentes de supernovas essas regiões são bastante estendidas e tem temperatura suficientemente alta para popular os níveis da transição de 1.644 μm .

Observacionalmente encontram-se poucos AGN's sem *starburst* que possuam linha de [Fe II] proeminente. Este fato suporta a origem de [Fe II] nos remanescentes de supernovas dos *starburst*'s. Porém, nos AGN's a intensidade de [Fe II]/Br γ é maior do que nos *starburst*'s (Kawara et al. 1988). Também encontra-se que a FWHM da linha de [Fe II] é mais larga (FWHM $\sim 650 \text{ km s}^{-1}$) na NGC 1068 do que nos *starburst*'s (FWHM $< 260 \text{ km s}^{-1}$; Kawara et al. 1988). Graham, Wright & Longmore (1990) encontraram [Fe II] na nebulosa síncrotron Crab Nebula onde um contínuo lei de potência em UV-raios-X dá origem às linha de emissão. Devido às similaridades nas condições físicas entre a nebulosa e a região de linhas estreitas nos AGN's, eles propõem que a linha de [Fe II] seja produzida por fotoionização.

Greenhouse et al. (1991) propõem que o aumento na razão [Fe II]/Br γ seja resultado da destruição de grãos por choques.

Mouri et al. (1990) e Mouri, Kawara & Taniguchi (1993 e 2000) (de agora em diante MKT) estudam em bastante detalhe dados observacionais e modelos para explicar a emissão de [Fe II] nos diferentes objetos. Eles estudaram as relações entre as razões [Fe II]/Br γ , [Fe III]/H β , [O I] λ 6300/H α e [O II] λ 3726, 3729/H γ .

MKT argumentam que o oxigênio neutro tem potencial de ionização 13.6 eV e que portanto, também não poderia sobreviver em uma região de gás completamente ionizado. Essa linha se origina, então, em regiões de gás parcialmente ionizado formadas por choques em *starburst*'s e por

fótons de alta energia em AGN's. Regiões de gás parcialmente ionizado podem ser formadas por raios-X que devido a sua pequena seção de choque penetram profundamente no gás e assim criam regiões de gás parcialmente ionizado bastante estendidas.

MKT encontram uma correlação linear entre $[\text{Fe II}]/\text{Br}\gamma$ e $[\text{O I}]\lambda 6300/\text{H}\alpha$ para AGN's, *starburst's*, remanescentes de supernovas e a nebulosa de Orion. Como o oxigênio é pouco afetado por depleção, eles descartam efeitos de depleção como intensificadores da linha de $[\text{Fe II}]$. A linha $[\text{O I}]$ tem origem em choques nos *starburst's*, portanto a linha de $[\text{Fe II}]$ também tem origem nos choques em *starburst's*. Além disso, assim como a linha $[\text{O I}]$ tem sua origem em regiões parcialmente ionizadas estendidas formadas pela radiação penetrante dos raios-X, a linha $[\text{Fe II}]$ é formada nas mesmas regiões devido aos raios-X.

Adicionalmente MKT encontram que a variação na razão $([\text{Fe II}]/\text{Br}\gamma)/([\text{Fe III}]/\text{H}\beta)$ entre a nebulosa de Orion e os remanescentes de supernova não podem ser explicados por modelo de destruição de grãos (efeitos de depleção) pois a razão de densidades entre Fe^{2+} e Fe^+ é constante para diferentes níveis de depleção.

5.2 Origem da emissão do H₂

Existem duas formas básicas (Veilleux et al. 1997) de excitar o hidrogênio molecular: colisões entre moléculas em um gás "morno" ($T \gtrsim 1000$ K) (outros autores também falam em colisões com elétrons) e fluorescência UV por fótons das bandas de Lyman e Werner (912-1108Å). O aquecimento necessário para a excitação colisional do H₂ pode ser criado de três formas: aquecimento de regiões de fotodissociação densas por radiação UV, aquecimento por raios-X (de AGN's por exemplo) e aquecimento por choques induzidos por *outflow* nuclear.

Veilleux et al. (1997) estudaram espectros de uma amostra de 33 Seyfert 2 e encontraram que a fluorescência em baixas densidades não é um processo de excitação importante na maioria dos *starburst's* e AGN's. Eles também encontram que o aquecimento UV não pode ser responsável pelo aquecimento do gás emissor nas galáxias de sua amostra.

Leep & McCray (1983) encontram que a razão entre o fluxo em raios-X (1-10 keV) e em H₂ $\lambda 2.122$ deve ser maior do que 400 para um gás aquecido por raios-X. Veilleux et al. (1997) encontram que, das 33 galáxias estudadas, só a NGC 1068 não satisfaz a esse critério mas provavelmente isso ocorre por que a medida em raios-X usada deve ser uma fração do fluxo incidente na NLR. Kawara et al. (1990) encontram um resultado semelhante para uma amostra de Seyfert's 1 e quasares. Eles propõem que a emissão H₂ se origina no toro molecular (região interna a 1 pc).

A hipótese de aquecimento por raios-X prediz que deve existir uma correlação entre a emissão H₂ e a emissão de linhas de baixa energia de ionização (tais como $[\text{O I}]$ ou $[\text{Fe II}]$) (Lepp & McCray 1983; Mouri et al. 1989). Veilleux et al. (1997) encontram um grande espalhamento na correlação $[\text{O I}]/\text{H}\alpha$ versus $\text{H}_2/\text{Br}\gamma$. Tal espalhamento pode ser devido a um grande espalhamento na razão de gás atômico para gás molecular ou devido a existência de uma fonte de excitação adicional em muitos desses objetos.

A excitação por choques é estudada por Veilleux et al. (1997) e outros autores por eles citados e encontram que os fluxos de matéria escapando do núcleo (*outflow's* nucleares) não dão conta de toda a energia necessária para explicar o fluxo H₂ medido nos objetos estudados.

Desta forma não se pode atribuir a origem da emissão H₂ a um único processo. Provavelmente choques devidos a fluxos de matéria escapando do núcleo e raios-X emitidos pelo AGN devem estar atuando juntos.

Um mecanismo de colimação bastante popular no âmbito do Modelo Unificado é o toro molecular circundante ao AGN. O toro, com um grande conteúdo de poeira, colima a radiação ionizante e obscurece o AGN, impedindo-o de ser observado de ângulos de visada desprivilegiados.

Storchi-Bergmann, Mulchaey & Wilson (1992) assumem que o AGN irradia isotropicamente e que a radiação incidente no toro é reprocessada sendo re-emitida no infravermelho. Eles encontraram que a luminosidade das Seyfert 2 é consistente com a luminosidade da radiação incidente no toro.

Se o toro molecular existir então deveremos encontrar emissão H_2 proveniente do material aquecido do toro. Blietz et al. (1994) encontrou H_2 espacialmente estendido na galáxia NGC 1068 e quase perpendicular ao cone.

5.3 Origem do Contínuo

Diagramas cor-cor J–H *versus* H–K podem ajudar a discriminar diferentes populações e/ou contribuições de poeira. Leitherer & Heckman (1995) criaram modelos evolucionários de estrelas massivas e calcularam dentre outras coisas, as cores JHK esperadas para populações com idades entre 10^6 e $10^{8.5}$ anos. Nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentamos cores JHK das galáxias de nossa amostra em várias aberturas e as comparamos com as cores dos modelos estudados por Leitherer & Heckman (1995), cores de bojos de galáxias espirais normais (consistentes com cores de populações late-type; Willner et al. 1984), cores de quasares corrigidas a redshift zero (Hyland & Allen 1982) e modelos que preveem as cores de uma mistura de população estelar típica de bojos com poeira emitindo a diferentes temperaturas (Alonso-Herrero et al. 1998). Nas figuras o círculo grande a esquerda é a região ocupada pelas cores de bojos de galáxias normais, o círculo grande a direita são as cores de quasares corrigidas a redshift zero. As caixas abaixo e à esquerda são as cores ocupadas pelas populações jovens modeladas por Leitherer & Heckman (1995). As linhas sólidas que divergem a partir do centro do círculo grande da esquerda mostram a alteração das cores de bojos de galáxias típicas à medida que são adicionadas contribuições crescentes de emissão de poeira com a temperatura T . As linhas pontilhadas traçam as posições de igual razão entre a emissão de poeira com luminosidade L_{dust} e a emissão de bojo na banda K com luminosidade L_{est} para os modelos com poeira de diferentes temperaturas. As razões de luminosidades L_{dust}/L_{est} assumem valores 0.5, 1, 2, 3 e 4.

Somente três galáxias da amostra têm imagens nas bandas J, H e K: NGC 4945, NGC 4388 e NGC 3227. Para a NGC 1566, ESO 428-G14 e NGC 5506 temos somente J e K o que nos levou a propor uma outra abordagem para analisar a informação que temos para estas galáxias. "Colapsamos" então as cores J–H e H–K dos modelos usados nos diagramas cor-cor para a cor J–K e exploramos um pouco mais a informação espacial criando um gráfico J–K em função da distância ao núcleo. No gráfico 5.4 mostramos, então, os valores de J–K *versus* [raio da abertura]/[distância ao núcleo] (dependendo se a medida foi feita em [abertura circular]/[anel ou retângulo]) para as 6 galáxias para as quais temos essa informação. O gráfico da esquerda inclui as galáxias para as quais só temos informação nas bandas J e K. O gráfico do lado direito contém galáxias para as quais temos informação nas bandas J, H e K.

As galáxias NGC 4388 e NGC 3227 que estão contidas no gráfico do lado direito tem as cores dos anéis concentradas na região da população de bojo. Sendo que o núcleo da NGC 4388 está também bastante avermelhado em relação à região de população de bojo indicando uma contribuição por emissão da poeira. As cores dos anéis para a NGC 4388 indicam que ela apresenta uma contribuição das populações de idade entre $10^6 - 10^{8.5}$ anos.

Nas galáxias do lado esquerdo do gráfico da figura 5.4 não vemos gradientes de cor tão grandes como na NGC 4945 ou na NGC 4388 (a NGC 5506 não está sendo considerada pois apresenta sinal ruído muito baixo já na região da abertura de 340 pc o que compromete a cor do anel) sendo que a ESO 428-G14 tem uma tendência de ficar mais vermelha em regiões mais externas e a NGC 1566 apresenta um avermelhamento moderado em direção ao núcleo. A NGC 1566 apresenta suas cores acima da região da população de bojo sugerindo que algum outro processo de emissão deve estar

contribuindo para a emissão do bojo nos 500 parsecs centrais.

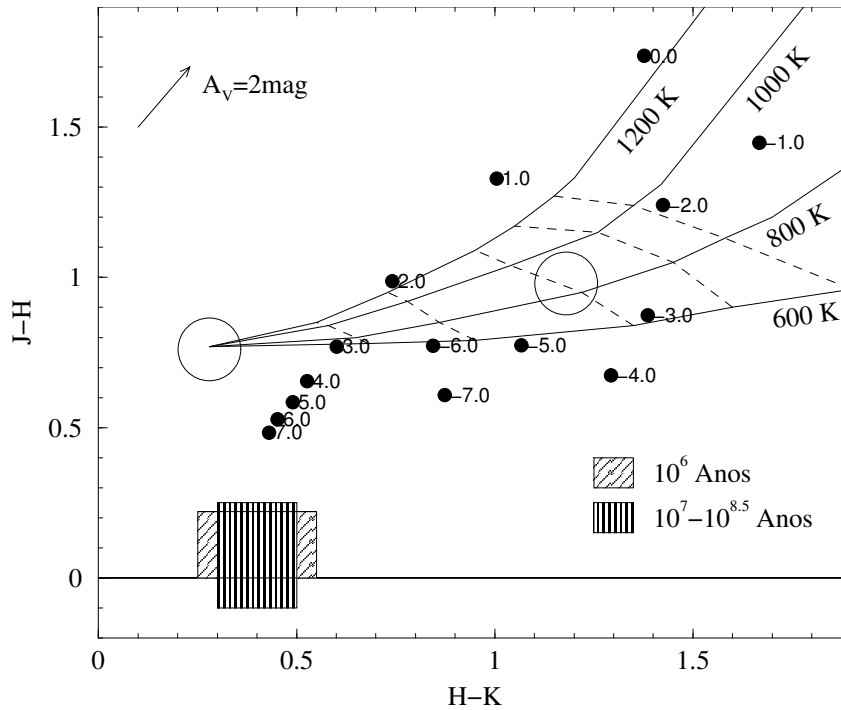


Figura 5.1: Diagrama $J-H$ versus $H-K$ para a NGC 4945. Os círculos fechados são as cores obtidas em diafragmas retangulares descritos no texto cujas distâncias ao núcleo em segundos de arco aparecem ao lado de cada ponto. Os círculos abertos grandes à esquerda e à direita são, respectivamente as cores típicas de bojo e de quasares corrigidos para *redshift* zero. Os retângulos abaixo e a esquerda são as cores de modelos de Leitherer & Heckman (1995) de populações de 10^6 anos e $10^7 - 10^{8.5}$ conforme a legenda na direita e abaixo. As quatro linhas sólidas que partem do círculo esquerdo são as cores de uma mistura de emissão de bojo mais emissão de corpo negro. As linhas tracejadas são linhas de igual razão entre a luminosidade do corpo negro e do bojo. Essas razões tem valores 0 (circulo aberto da esquerda), 0.5, 1, 2, 3 e 4. A linha sólida horizontal na parte de baixo do gráfico é apenas o eixo- x .

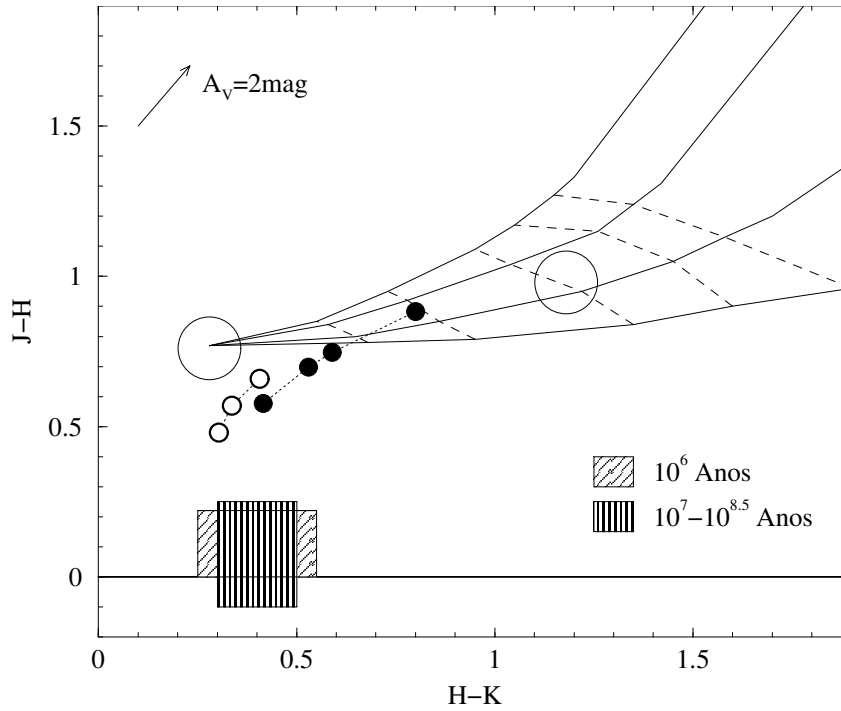


Figura 5.2: Idem à figura 5.1 para a galáxia NGC 4388. A diferença é que neste gráfico os círculos fechados são as fotometrias de abertura com raios 96, 192, 250 e 500 pc e os círculos abertos são as fotometrias dos anéis entre as aberturas.

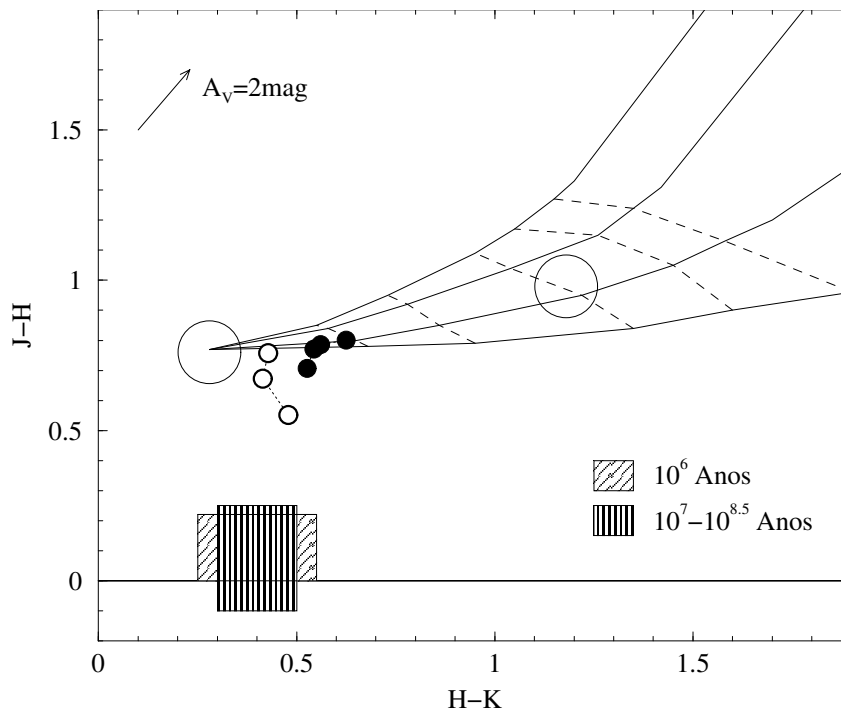


Figura 5.3: Idem à figura 5.2 para a galáxia NGC 3227.

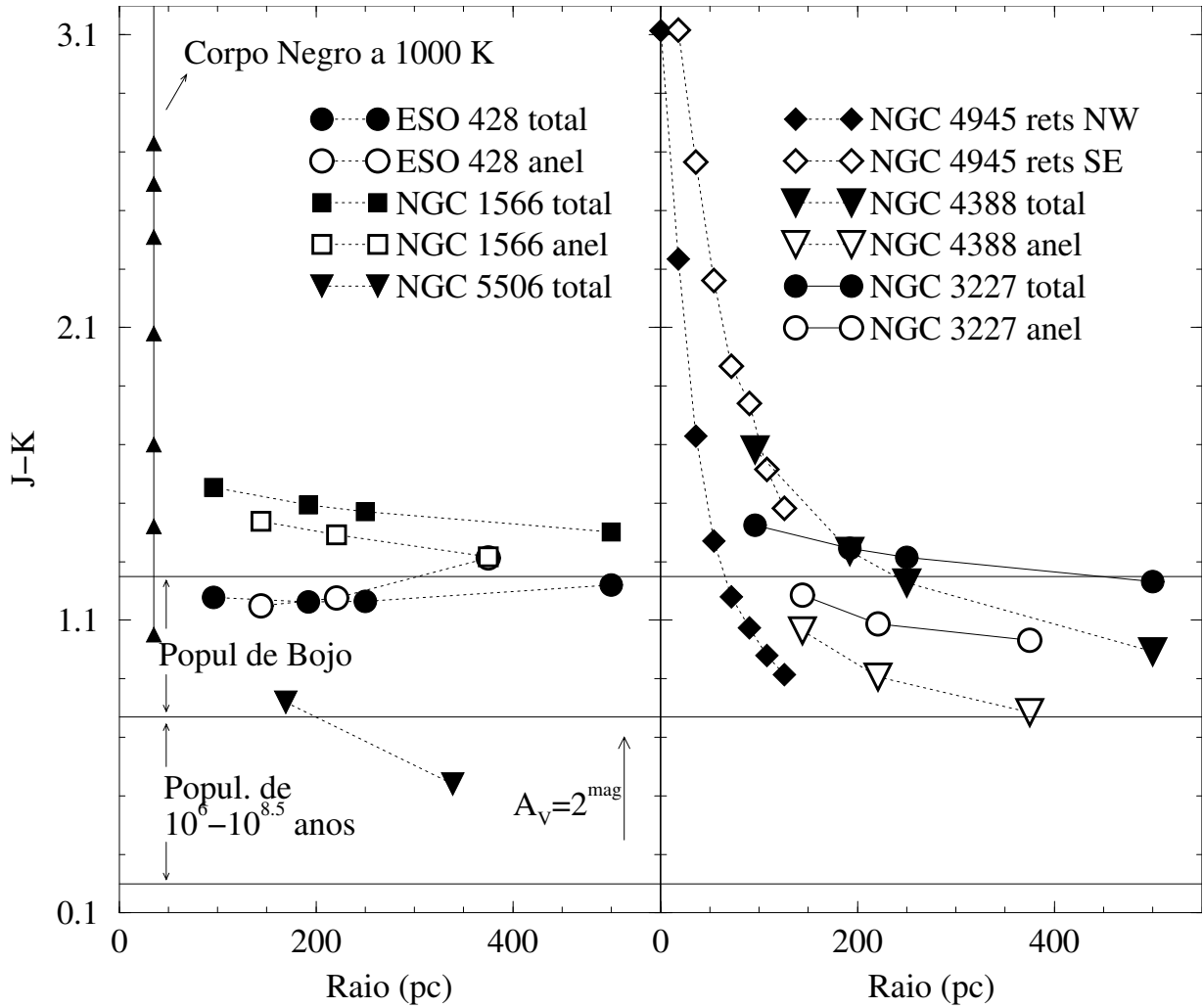


Figura 5.4: Cores J–K em diferentes aberturas (símbolos fechados) e em anéis entre as aberturas (símbolos abertos). O gráfico da esquerda contém as galáxias para as quais só temos informação na banda J e na banda K. O gráfico da direita contém galáxias para as quais temos informação nas bandas J, H e K. As linhas horizontais marcam os limites de cor para a população típica de bojo e para populações entre 10^6 e $10^{8.5}$ anos (dos modelos de Leitherer & Heckman (1995)). A linha vertical no gráfico esquerdo apresenta as cores J–K para o modelo de cores com mistura de emissão de poeira + emissão de população típica de bojo. Essa linha apresenta as cores para o caso particular em que $T = 1000$ K. As setas marcam as diferentes razões L_{dust}/L_{est} . As cores J–K previstas para outras temperaturas de poeira não mudam significativamente. As galáxias ESO 428-G14 e NGC 1566 foram medidas em aberturas de raio 96, 192, 250 e 500 pc e a galáxia NGC 5506 foi medida em aberturas de raio 170 e 340 pc. A NGC 4945 foi medida no núcleo e simetricamente em relação ao núcleo ao longo da direção $PA = -48^\circ$ nas distâncias ± 18 , ± 36 , ± 54 , ± 72 , ± 90 , ± 108 e ± 126 pc.

5.4 NGC 3227

A morfologia que vemos em [Fe II] mostra um caroço deslocado do núcleo na direção NW emitindo a maior parte da radiação da linha. Diametralmente (em relação ao núcleo) oposto a esse caroço vê-se emissão estendida em níveis de fluxo mais baixos (acima de 7 desvios padrão do céu) a $7''$ do núcleo. Existe um desalinhamento entre o eixo maior da galáxia (PA $\sim 158^\circ$; Mundell et al. 1995b) e o PA da emissão em [Fe II] (PA $\sim 110^\circ$).

Delgado & Pérez (1997) encontraram emissão de [O III] estendida na direção NE (PA $\sim 25^\circ$), perpendicular a extensão do caroço [Fe II]. A imagem em H α tem um caroço que se estende a partir do núcleo na direção SW, também, aproximadamente perpendicular a extensão vista em nossa imagem. Vêem-se, também, em sua imagem H α nós distantes do núcleo e alinhados com o eixo maior da galáxia tanto a NW como a SE.

Mapas rádio em 6 e 18 cm (Mundell et al. 1995a) mostram um segundo pico de emissão (além do núcleo) distante $0''.4$ do núcleo a PA $\sim -10^\circ$.

Mundell et al. (1995b) mostram mapas rádio em 21 cm (H I) que se alinham na direção da emissão de [Fe II] porém em maior escala. Imagens em 21 cm evidenciam que nessa direção existe uma perturbação do potencial da galáxia devido a presença da companheira interactuante NGC 3226 que dista apenas 2.2 minutos de arco na direção NE. Entretanto, tal perturbação não deve ter relação com a excitação de [Fe II] que necessita mais energia do que esse tipo de perturbação pode fornecer.

O contínuo é caracterizado por isofotas alongadas com eixo maior ao longo da direção PA $\sim -23^\circ$. Na posição $5''.5$ ao norte e $0''.9$ a oeste vemos um nó semelhante a uma estrela. Atentamos para este nó no capítulo de resultados e o chamamos de objeto S. Este nó foi estudado por Schinnerer et al. (2001). Suas cores ocupam uma posição na região do mapa cor-cor correspondente a regiões HII.

Chamamos atenção para uma estrutura vizinha previamente nomeada objeto A. Essa estrutura não aparece nas imagens individuais dos contínuos mas é bastante evidente nos mapas de cor. Tem cores J–H ~ 0.8 e H–K ~ 0.3 . Essas são cores associadas a bojos não avermelhados. Não conseguimos correlacionar essa estrutura com nenhuma outra em trabalhos da literatura em outras bandas.

Os valores de J–K mais vermelhos a SW sugerem que este é o lado mais próximo da galáxia, que apresenta um avermelhamento médio de $A_V \sim 4.6$ em relação ao lado mais distante (Cardelli et al. 1989).

Fizemos fotometrias de abertura circulares e computamos as fotometrias dos anéis entre as aberturas adjacentes. As aberturas usadas têm raios 96, 192, 250 e 500 pc e na figura 5.3 plotamos as cores. A galáxia NGC 3227 mostra um núcleo pouco afetado pela contribuição da poeira quente cuja cor deve estar afetada pela contribuição da fonte nuclear, observada diretamente nesta galáxia Seyfert 1. A cor dos anéis sugere contribuição pequena de estrelas jovens e/ou de idade intermediária.

As cores J–K mostradas no gráfico da figura 5.4 indicam valores mais vermelhos do núcleo em relação aos anéis externos. Isso indica uma contribuição de emissão de corpo negro por poeira provavelmente não maior do que $L_{dust}/L_{est} \sim 0.5$.

5.5 NGC 4388

O mapa de H $_2$ apresenta emissão estendida em todas as direções a partir do núcleo, porém, a direção em que a emissão se estende mais é a direção E \leftrightarrow W (plano da galáxia) se estendendo por

3" a E e 5" a W.

A galáxia tem uma faixa de poeira que a atravessa ao longo da direção E↔W, visível nas três bandas do contínuo. Os mapas de cor tem uma componente avermelhada que se projeta do núcleo na direção N por 3" e se curva na direção W conectando-se com uma região avermelhada paralela ao plano da galáxia e que parece estar associada à banda de poeira mencionada.

As fotometrias de abertura circulares e os anéis entre os círculos adjacentes com raios 96, 192, 250 e 500 pc são graficados na figura 5.2 onde vemos que esta galáxia tem o núcleo mais vermelho que o anel adjacente ao núcleo, consistente com o previsto por uma razão L_{dust}/L_{est} igual a 1. Os anéis apresentam cores que sugerem uma contribuição de populações com idades entre 10^6 e $10^{8.5}$ anos para as regiões mais externas do bojo (> 500 pc).

As cores J–K são graficadas em função do raio das aberturas/anéis circulares na figura 5.4. Vemos seu núcleo consideravelmente mais vermelho que o anel adjacente indicando, da mesma forma que no mapa cor-cor, que seu núcleo deve estar recebendo a contribuição de emissão de corpo negro de poeira a ~ 1000 K. Em J–K também vemos que as regiões externas do bojo recebem uma contribuição das populações jovens e de idade intermediária.

5.6 NGC 4945

Nesta galáxia existe uma bolha (ou cavidade) criada por um supervento gerado no **starburst** nuclear (mencionado na página 14) e que se estende na direção NW. Esta estrutura foi observada previamente em imagens J e H₂ por Moorwood et al. (1996).

A emissão em H₂ é predominantemente estendida na direção NW por 5", consistente com o que foi encontrado por Moorwood et al. (1996) e Marconi et al. (2000). Em suas imagens o mapa de H₂ traça as paredes da cavidade soprada pelo supervento enquanto que nossa imagem apenas insinua as paredes da cavidade. Uma das paredes se estende na direção W e a outra na direção NW. A origem da emissão de H₂ nessa região da galáxia é, provavelmente, o aquecimento causado pelos choques induzidos pelo supervento soprado pelo *starburst*. Esta galáxia é uma das fontes extragalácticas de raios-X mais intensas em 100 eV (Done et al. 1996) indicando que os raios-X podem estar atuando como um segundo mecanismo na produção do H₂.

A emissão em [Fe II] é estendida na mesma direção NW por 6", mas há ainda uma estrutura estendida na direção NE paralela ao eixo maior da galáxia que se estende, também, por 6" a partir do núcleo. A morfologia da emissão de [Fe II] é consistente com gás aquecido por choques devidos ao supervento do *starburst* nuclear. A emissão de [Fe II] também pode estar sendo intensificada pelos raios-X nucleares já mencionados.

Em J vemos uma estrutura em forma de cunha prolongando-se na direção NW por alguns segundos de arco consistente com a morfologia traçada pelo supervento mencionado anteriormente. As isofotas mais internas mostram uma colimação maior.

Em H ainda vemos a estrutura soprada pelo supervento ao passo que em K essa estrutura já está bem mais suavizada. A morfologia em K é dominada por uma componente alongada ao longo do plano. Em J, H e K vê-se claramente uma faixa de poeira paralela ao eixo maior da galáxia obscurecendo o lado SE que é o lado mais próximo. Em K o obscurecimento é menos dramático e é localizado nas regiões mais próximas ao eixo maior da galáxia.

Em J–H, H–K e J–K não vemos evidências da cavidade vista nas imagens do contínuo. A faixa de poeira que domina o lado mais próximo da galáxia é, no entanto, bem mais evidente nas cores do que nos contínuos. Em J–H vê-se uma região mais azul cortando a faixa de poeira paralelamente a esta.

Fizemos fotometrias de abertura na galáxia NGC 4945 usando 15 retângulos adjacentes, com centros desde $-7''.5$ a $7''.5$ do núcleo ao longo da direção PA = -48° (aproximadamente o eixo menor

da galáxia). As dimensões dos retângulos são $3'' \times 1''$ sendo que as faces de $3''$ são as faces adjacentes nos retângulos. Essa disposição das aberturas foi utilizada levando em consideração a assimetria que existe em relação ao eixo maior da galáxia. Nesta galáxia existe um desnível no brilho do lado NW (mais brilhante) relativo ao lado SE. Na figura 5.1 comparamos as cores encontradas nessas aberturas com os modelos descritos acima. Na figura os valores ao lado dos círculos fechados são as distâncias da borda mais próxima dos retângulos ao núcleo ao longo da direção -48° . Os valores positivos são distâncias a NW. As regiões mais vermelhas são o núcleo e o retângulo a $-1''$ do núcleo. Os retângulos a NW do núcleo traçam uma seqüência que corre ao longo das linhas dos modelos de emissão de corpo negro e se estende na direção da região das populações de 10^6 - $10^{8.5}$ anos. Lembrando que cada segundo de arco equivale a 18 pc na galáxia, podemos dizer que a região nuclear a 18 pc e estendida ao longo do eixo maior por 54 pc é dominada pela emissão de corpo negro de poeira a temperatura 1200 K pois a razão da emissão de poeira sobre a emissão do bojo é muito maior do que 4. As fotometrias das regiões progressivamente mais distantes mostram menos contribuição de poeira (retângulos a 3 e 4 segundos de arco) e o desvio das cores das regiões mais afastadas do núcleo (70 a 130 pc) em direção às cores das populações de 10^6 - $10^{8.5}$ anos evidenciam a contribuição dessas populações ao contínuo nuclear nessa região. Isso é consistente com o anel de formação estelar com raio de 100 pc conhecido para essa galáxia (Marconi et al. 2000). Diferenças entre o lado SE e NW são devidas, principalmente, ao obscurecimento.

Usando o gráfico J–K *versus* raio (figura 5.4) vemos que também nessa cor a NGC 4945 tem seu núcleo bastante vermelho. Esse alto índice J–K no núcleo é consistente com o modelo de emissão de corpo negro devido à poeira de 1000 K no núcleo. Novamente aqui o lado mais vermelho é o lado SE. A região mais externa (± 126 pc) a SE mostra evidências de contribuição das cores da população de bojo, apesar de suas cores serem sistematicamente mais vermelhas e o lado NW (lado menos obscurecido), particularmente, além de 72 pc está todo contido na região de cor típica de bojos. Há uma certa tendência dos pontos mais afastados se deslocarem em direção a região das populações com idades entre 10^6 e $10^{8.5}$ anos como visto, também, claramente usando o diagrama cor-cor.

5.7 NGC 5252

A morfologia da imagem J é a de uma galáxia S0 típica. Seu eixo maior está alinhado a PA $\sim 15^\circ$.

A imagem em [Fe II] (figura 4.36) mostra emissão estendida anisotropicamente ao longo da direção PA $\sim -45^\circ$ por ~ 1.1 kpc a NW e por ~ 1 kpc a SE. Esta estrutura está em perfeito alinhamento com a parte interna do cone de fotoionização descoberto por Tadhunter & Tsvetanov (1989) em [O III] e estudado mais recentemente por Morse et al. (1998). Porém, nas imagens H α de Morse et al. (1998) há ainda uma estrutura composta por dois nós simetricamente dispostos em relação ao núcleo alinhados a PA $\sim 40^\circ$, ou seja aproximadamente perpendicular ao eixo PA $\sim -45^\circ$ e distantes $\sim 0.5''$ do núcleo. Tal estrutura sugere um disco de raio 225 pc.

A emissão estendida que vemos em nossas imagens [Fe II] pode ser explicada como sendo originada em regiões de gás parcialmente ionizado por raios-X do AGN ou devido a choques causados pela ejeção de matéria do AGN.

Prieto & Freudling (1996) encontram emissão de H I em forma de dois picos que circundam o núcleo a leste e oeste. Eles argumentam que essa disposição forma uma geometria mutuamente excludente entre gás neutro e ionizado.

Embora a emissão em H $_2$ encontrada seja muito tênue para ter certeza de alguma morfologia em H $_2$, ela está alinhada na direção do pico mais intenso encontrado em H I por Prieto & Freudling

(1996).

5.8 ESO 428-G14

A morfologia encontrada em nossa imagem [Fe II] mostra uma estrutura tipo cone se estendendo a SE por $\sim 5''$ e menos estendida na direção NW atingindo um afastamento de $1''.7$ do núcleo. Essa segunda estrutura contém um pico com quase a mesma intensidade do pico nuclear.

Em imagens $H\alpha$, [O III] e rádio 6 cm (Falcke et al. 1996) vemos uma estrutura **muito** parecida à encontrada em nossa imagem [Fe II]. Inclusive o pico a NW é visto em $H\alpha$ e rádio 6 cm. Tal semelhança nos leva a propor que a excitação do [Fe II] seja devida a aquecimento por choques devidos a interação do jato rádio com o meio interestelar e aquecimento por raios-X do AGN.

Em H_2 temos emissão não resolvida concentrada no núcleo e a $2''$ S do núcleo. A NW temos emissão estendida que parece estar associada com o cone de emissão em $H\alpha$, rádio em 6 cm, e [Fe II] comentado acima.

O mapa J–K mostrado na figura 4.43 apresenta cores mais azuis no lado SW sugerindo que este é o lado mais distante da galáxia.

As cores J–K no gráfico J–K *versus* raio indica que o seu bojo tem cores típicas de população bojo.

5.9 NGC 1566

O mapa [Fe II] mostra emissão estendida em todas as direções sendo que sua extensão maior se dá na direção S↔N (PA $\sim 5^\circ$) sendo de $3''$ a N e a S.

Morganti et al. (1999) obtiveram um mapa rádio em 3.5 cm em que se observa uma estrutura nuclear alongada na direção S↔N com PA $\sim 5^\circ$ com dimensão $\sim 2''.5$ e uma componente a N na direção PA $\sim 5^\circ$ afastada do núcleo por $3''$.

O mapa de cor evidencia um anel aberto a E circundando o núcleo com cor J–K=1.05. Pode-se observar, também um gradiente de cores do lado NW (mais vermelho) para o lado SE, sugerindo que o lado NW seja o lado mais próximo.

O mapa de H_2 também apresenta um alongamento de suas isofotas externas na direção S↔N. Vemos adicionalmente concentrações de emissão a $\sim 6''$ na direção SE. Se aceitarmos que o lado SE é o mais distante então as estruturas em H_2 vistas a SE podem ser material acima do plano que estão sendo projetadas contra o disco da galáxia.

O alongamento da estrutura nuclear vista em rádio, [Fe II] e H_2 nos sugere que o mecanismo pelo qual a emissão de [Fe II] e H_2 estão sendo criadas está associado ao AGN.

A NGC 1566 apresenta suas cores J–K sistematicamente mais vermelhas que as cores de uma população de bojo para todos os raios como podemos ver no gráfico da figura 5.4. Há ainda um pequeno contraste de cor ao longo do raio sendo que o núcleo é a região mais vermelha.

5.10 NGC 3393

A morfologia em H_2 para esta galáxia apresenta emissão estendida à NE por $1''$ e SW por $2''$ ambas ao longo da direção PA $\sim 45^\circ$, coincidentes com picos de emissão observados em imagens [O III] e $H\alpha$ (Cooke et al. 2000). Em nossa imagem o lado SW tem um fluxo maior e há ainda um filamento que se estende $1''.5$ na direção S que também é observado por Cooke et al. (2000).

Schmitt et al. 2001 obtiveram um mapa rádio em 3.6 cm desta galáxia em que se vem o núcleo e dois lobos rádio diametralmente opostos em relação ao núcleo ao longo da direção PA $\sim 45^\circ$ e afastados deste por $\sim 1''.5$. Morganti et al. (1999) obtiveram um mapa rádio em 6 cm usando o VLA em que aparecem dois lobos nucleares separados por $\sim 3''$ um do outro. Tais correlações indicam que a emissão em H₂ está relacionada à atividade nuclear.

5.11 NGC 5506

Em [Fe II] (usando o filtro 1.06 μm como contínuo) vemos emissão em todas as direções mas com alinhamento das isofotas ao longo da direção PA $\sim -45^\circ$ tanto a SE como a NW.

Wilson et al. (1985) apresenta mapas de linhas H α + [N II], H β , [O III] $\lambda 4959$ e [O III] $\lambda 5007$ da região central desta galáxia. O mapa H β tem suas isofotas alongadas na direção PA $\sim -45^\circ$ e [O III] tem isofotas alongadas na direção PA $\sim -60^\circ$, mas devido à qualidade destes mapas, construídos a partir de espectroscopia, sua orientação é consistente com uma mesma orientação para as duas estruturas. Schmitt et al. 2001 obtiveram um mapa rádio mostrando emissão rádio estendida ao redor do núcleo com isofotas alongadas a -45° . Portanto nossa emissão [Fe II] parece estar associada também nesta galáxia à emissão de [O III] e rádio, como nos casos da ESO 428-G14 e NGC 5252.

Em H₂ temos emissão em todas as direções mas as isofotas mostram alinhamento nas direções NE e NW.

O H₂ ao mesmo tempo que tem uma componente alinhada com a emissão de [Fe II] no lado NW, tem uma componente perpendicular. Tal componente perpendicular (componente NE) pode ser associada a uma componente NE em H α + [N II] embora não seja evidente que possamos fazer tal associação pois em ambas a extensão é bastante pequena.

O mapa de cor mostra uma componente vermelha alongada na direção S \leftrightarrow N com extensão total de $2''$.

Devido ao baixo sinal/ruído para raios maiores que $2''$ a partir do núcleo, as cores J–K na figura 5.4 da abertura maior e o anel ficaram prejudicadas, impedindo uma análise quanto a sua população/contribuição de poeira.

Capítulo 6

Sumário e Conclusões

6.1 Imageamento

A realização deste trabalho permitiu verificar a importância de vários cuidados na aquisição e redução das imagens no infravermelho que são determinantes na qualidade final da redução e calibração. São eles:

- Para galáxias com dimensões lineares maiores que $1/4$ do lado do frame não se pode usar os frames da galáxia para construir o frame de céu, portanto **deve-se** fazer exposições de céu intercaladas com as exposições do objeto de forma que durante a redução se possa usar as exposições mais próximas temporalmente na subtração galáxia – céu. Quando forem usadas as exposições da galáxia para construir o céu, já na aquisição deve-se usar um padrão de *dithering* tal que nenhuma parte da galáxia em um frame se sobreponha com partes da galáxia em outros frames.
- O padrão de *dithering* deve ser tal que não se usem posições que sejam simples deslocamentos paralelos a algum eixo do frame a partir de outras posições.
- Na construção de imagens em linhas de emissão, em que é necessário subtrair a contribuição do contínuo, deve-se observar o objeto em filtros estreitos de contínuo em ambos os lados da linha de emissão para poder interpolar um contínuo com o mesmo avermelhamento submetido à linha, evitando, assim, efeitos devido a diferença de avermelhamento entre a linha e o contínuo.
- Em subtrações entre imagens obtidas com filtros diferentes deve-se degradar a imagem com melhor seeing/PSF para que as duas fiquem com igual seeing/PSF.

6.2 Emissão em [Fe II]

A galáxia NGC 5252 mostra emissão estendida em [Fe II] associada com a emissão em [O III] e $H\alpha$. Tal associação indica que o mecanismo que origina a emissão de [Fe II] pode ser tanto ionização por raios-X como por choques. A geometria do gás emissor e sua associação com a emissão em [O III] nos leva a concluir que o mecanismo, seja ele qual for, está associado ao AGN

de acordo com as previsões do Modelo Unificado. Particularmente, nesta galáxia, a estrutura que vemos pode ser identificada como um bicone.

Para a galáxia ESO 428-G14 a situação é a mesma que para a NGC 5252, ou seja, encontramos emissão estendida do gás associado com emissão em [O III], $H\alpha$ e rádio em 6 cm. Nesta galáxia a estrutura vista não discrimina o mecanismo que ioniza o gás mas a associação da emissão [Fe II] com a emissão rádio sugere que efeitos de choques devidos a ejeção de matéria estão pelo menos contribuindo para o aquecimento do gás emissor de [Fe II].

Para a NGC 3227 encontramos emissão de [Fe II] se estendendo perpendicularmente tanto em relação ao [O III] como em relação ao $H\alpha$, e portanto a origem é possivelmente diferente da dos casos acima.

A galáxia NGC 4945 apresenta emissão estendida de [Fe II] na direção NW por $6''$, mesma direção da bolha criada pelo super-vento do *starburst* nuclear. Nesta galáxia os efeitos de choques devem ter um papel decisivo na formação do [Fe II] embora saibamos que ela é uma das fontes extragalácticas de raios-X em 100 eV mais intensas e por isso não podemos descartar completamente os raios-X como mecanismo de formação da linha.

A galáxia NGC 1566 apresenta emissão alongada na direção S \leftrightarrow N com extensão de $3''$ em cada uma das direções. A correlação encontrada com a emissão rádio sugere que os efeitos de choques podem estar associados com com a emissão de [Fe II].

A emissão de [Fe II] da NGC 5506 se apresenta alongada ao longo da direção SE \leftrightarrow NW, alinhada com a emissão [O III] e rádio sugerindo que sua origem é ionização por raios-X da fonte central e/ou choques devidos ao jato rádio.

Em resumo, a origem do [Fe II] em 4 das 6 galáxias em que foi observado é ionização por raios-X e ou choques produzidos por jatos rádio do núcleo ativo e em NGC 4945 por super-ventos do *starburst* nuclear.

6.3 Emissão em H_2

Encontramos H_2 coincidente com regiões de gás ionizado observado em imagens [O III] e $H\alpha$ na galáxia NGC 3393. Aqui novamente a linha está sendo criada por choques ou raios-X produzidos pelo AGN.

Na galáxia NGC 5252 encontramos emissão de H_2 muito tênue e fora do núcleo que poderia estar associada a regiões mais externas do toro.

Na NGC 4388 a emissão se concentra no plano da galáxia. Essa morfologia leva a conclusão de que tal emissão é devida à uma alta concentração de gás molecular no plano, podendo ou não conter contribuição do toro.

A galáxia NGC 4945 apresenta emissão de H_2 estendida por $5''$, tanto ao longo do plano da galáxia como perpendicularmente a este, na direção NW. Esta última é a direção em que se estende a bolha anteriormente mencionada levando-nos a sugerir que choques sejam o mecanismo de formação da linha.

Para a ESO 428-G14 encontramos emissão não resolvida concentrada no núcleo e estendida a $\sim 2''$ do núcleo a NW. A emissão nuclear contribui com a maior parte do fluxo nessa linha e é consistente com modelos que propõem o toro molecular como fonte dessa linha. A extensão a NW está alinhada com o cone NW indicando uma correlação do mecanismo de formação da linha com o AGN.

A emissão de H_2 na galáxia NGC 1566 parece estar associada com regiões de forte avermelhamento do núcleo, ao passo que a emissão estendida vista a SE sugere que temos H_2 emitindo acima do plano.

O pequeno alongamento da extensão de H_2 vista na galáxia NGC 5506 é consistente com contribuição do toro.

Em resumo, dentre as 7 galáxias em que o H_2 foi observado, em 3 casos (NGC 3393, ESO 428-G14 e NGC 4945) ele está associado a gás ionizado pelo AGN ou *starburst* central. Em outros 3 casos (NGC 5252, ESO 428-G14 e NGC 5506) encontramos emissão consistente com emissão proveniente do toro molecular. Nos demais casos ele pode estar associado ao toro, mas pode conter outras contribuições, como gás molecular mais estendido no plano da galáxia.

6.4 Contínuo

Os mapas J–K fornecem valores de avermelhamento quando comparamos o lado mais avermelhado com o lado mais azul: $0.9 < A_V$ (NGC 1566) < 5.4 (NGC 4945).

Somente as galáxias NGC 4945, NGC 4388 e NGC 3227 tem cores nucleares consistentes com contribuição significativa de emissão de corpo negro por poeira com razões $L_{dust}/L_{est} > 4$, $L_{dust}/L_{est} \sim 1$ e $L_{dust}/L_{est} \sim 0.5$, respectivamente. Os baixos valores da contribuição por poeira nos casos de NGC 3227 e NGC 1566 podem ser devido ao fato de estas galáxias serem Seyfert 1, em que a fonte nuclear azul pode estar compensando a cor vermelha do toro.

Encontramos, também, que as galáxias NGC 4945 e NGC 4388 tem cores externas ao núcleo consistentes com contribuições de populações com idades entre 10^6 e $10^{8.5}$ anos.

Referências Bibliográficas

- [1] Alonso-Herrero, A. et al. A near-infrared imaging study of Seyfert galaxies with extended emission-line regions, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 495, 196-221, 1998
- [2] Antonucci, R. R. J., Unified models for active galactic nuclei and quasars, **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, 31, 473-521, 1993
- [3] Antonucci, R. R. J.; Miller, J. S. Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.297, p.621-632, Oct. 1985
- [4] Axon et al., The Jet Driven Motions in the Narrow Line Region of NGC 1068, **Astrophysics and Space Science**, 248, 69-77, 1997
- [5] Axon et al., Jet-Driven Motion in the Narrow-Line Region of NGC 1068, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 496, L75-L78, 1998
- [6] Bajaja, E. Observation of HI in Southern Galaxies, 1A REUNION ASTRON. REG. LATINO-AMERICANA: 1979JAN P. 64, 1979
- [7] Baumgart, C. W.; Peterson, C. J. Near-infrared surface photometry of barred spiral galaxies, **Astronomical Society of the Pacific, Publications**, San Francisco, v.98, p.56-69, Jan. 1986
- [8] Bergvall, N.; Johansson, L.; Olofsson, K. ESO 428-G14: a new Seyfert galaxy, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 166, 92-96, May 1986
- [9] Blanco, P. R.; Ward, M. J.; Wright, G. S. Broad infrared line emission from the nuclei of Seyfert 2 galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.242, p.4P-8P, Jan. 1990
- [10] Blietz, M.; Cameron, M.; Drapatz, S.; Genzel, R.; Krabbe, A.; van der Werf, P.; Sternberg, A.; Ward, M. Near-infrared spectroscopic imaging of the circumnuclear environment of NGC 1068, **The Astrophysical Journal**, Chicago, n.421, n.1 p.92-100, Jan. 1994
- [11] Boisson, C.; Durret, F. The ultraviolet of infrared continuum of ten narrow emission line active galaxies, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, v.168, n.1-2, p.32-40, Nov. 1986
- [12] Bower, G. et al., Radio and Emission-Line Jets in the Type 2 Seyfert Galaxy Markarian 1066 (UGC 2456), **The Astrophysical Journal**, Chicago, 454, 106, 1995
- [13] Capetti, A. et al., The Morphology of the Narrow-Line Region of Markarian 3, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 448, 600-610, 1995
- [14] Capetti, A. et al., Radio Outflows and the Origin of the Narrow-Line Region in Seyfert Galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 469, 554-563, 1996

- [15] Cardelli J. A.; Clayton, G. C.; Mathis, J. S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 345, 245-256, 1989
- [16] Colina, L. The Ionization Radiation Field of NGC 4388 and its Relation to the Extranuclear Emission-line Regions, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 386, 59-67, Feb 1992
- [17] Comte, G.; Duquennoy, A. The galaxy NGC 1566 - Distribution and kinematics of the ionized gas, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, v.114, n.1, p.7-18, Oct. 1982
- [18] Cooke, A.J.; Baldwin, J.A.; Ferland, G.J.; Netzer, H. The Narrow-Line Region in the Seyfert 2 Galaxy NGC 3393, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 129, 517-545, Aug 2000
- [19] Corbin, Michael R.; Baldwin, J. A.; Wilson, A. S. Kinematics and ionization of extended gas in active galaxies. IV - The Seyfert 2 galaxy NGC 4388, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.334, Part 1, p.384-396, Nov. 1988
- [20] de Vaucouleurs, G. Southern Galaxies.VI. Luminosity Distribution in the Seyfert Galaxy NGC 1566, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.181, p.31-50, Apr. 1973
- [21] de Vaucouleurs, G. in Stars and Stellar Systems, Vol. 9, Galaxies and the Universe, ed. A. Sandage, M. Sandage, and J. Kristian (Chicago: University of Chicago Press), Chap. 14, 1975
- [22] de Vaucouleurs, G.; de Vaucouleurs, A.; Corwin, J. R.; Buta, R. J.; Paturel, G.; Fouque, P. Third reference catalogue of bright galaxies, 1991, New York : Springer-Verlag.
- [23] de Vaucouleurs, G.; de Vaucouleurs, A.; Corwin, H. G., Jr.; Buta, R. J.; Paturel, G.; Fouque, P. Third Reference Catalogue of bright galaxies (RC3), VizieR On-line Data Catalog: VII/137B. Originally published in: Springer-Verlag, New-York (1991), Jun, 1992
- [24] Delgado, R.M.G.; Pérez, E. The circumnuclear region in the Seyfert 1 galaxy NGC 3227, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 284, 931-945, 1997
- [25] Dennefeld, M.; Pequignot, D. The Crab Nebula. II - Near-infrared spectrophotometry of a bright filament, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, v.127, n.1, p.42-48, Oct. 1983
- [26] Dias, A.I.; Prieto, M.A.; Wamasteker, W. The optical and UV spectrum of the Seyfert type 2 galaxy NGC 3393, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 195, 53-59, Sep 1988
- [27] Done, C.; Madejski, G. M.; Smith, D. A. NGC 4945: The Brightest Seyfert 2 Galaxy at 100 keV, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 463, L63-L66, 1996
- [28] Dos Santos, P. M.; Lepine, J. R. D. Detection of strong H₂O emission from galaxy NGC4945, **Nature**, London, 278, 34-35, 1979
- [29] Durret, F.; Bergeron, J. Long slit spectroscopy of emission line galaxies. I - The sample, **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, Heidelberg, v.75, n.2, p.273-297, Oct. 1988
- [30] Elmegreen, B.G.; Elmegreen, D.M. Optical tracers of spiral wave resonances in galaxies - Applications to NGC 1566, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.355, p.52-58, May. 1990
- [31] Elmouttie, M. et al., The radio continuum structure of the edge-on spiral galaxy NGC 4945, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 284, iss.4, 830-838, 1997

- [32] Evans, I. N. et al., HST imaging of the inner 3 arcseconds of NGC 1068 in the light of forbidden O III 5007 Å, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 369, L27-L30, 1991
- [33] Evans, I. N. et al., Hubble Space Telescope Imaging of the Narrow-Line Region of NGC 4151, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 417, 82-89, 1993
- [34] Falcke, H.; Wilson, A.S. Helical Strands in the Jetlike Narrow-line Region of ESO 428-G14, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 470, L31-L34, Oct 1996
- [35] Ferland, G. J.; Osterbrock, D. E. IUE spectra and a resulting model of Seyfert 2 galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.300, p. 658-668, Jan 1986
- [36] Fernandez, B.R.; Holloway, A.J.; Meaburn, J.; Pedlar, A.; Mundell, C.G. Excited molecular hydrogen around the Seyfert nuclei of NGC 3227 and NGC 4151, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 305, 319-324, Dec 1999
- [37] Filippenko, A. V.; Sargent, W. L. W A search for 'dwarf' Seyfert 1 nuclei. I - The initial data and results, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, v.57, p.503-522, Mar 1985
- [38] Fischer, J.; Smith, Howard A.; Geballe, T. R.; Simon, M.; Storey, J. W. V. Molecular hydrogen line emission in Seyfert galactic nuclei, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.320, p.667-675, Sep. 1987
- [39] Frogel, **Astronomical Society of the Pacific, Publications**, San Francisco, 110, 200-209, 1998
- [40] Graham, James R.; Wright, Gillian S.; Longmore, Andrew J. Infrared spectroscopy of the supernova remnant IC 443, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.313, p.847-852, Feb. 1987
- [41] Graham, J.R.; Wright, G.S.; Longmore, A.J. Infrared spectroscopy and imaging of the Crab Nebula, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 352, 172-183, 1990
- [42] Guainazzi, M.; Matt, G.; Brandt, W. N.; Antonelli, L. A.; Barr, P.; Bassani, L. A broad-band X-ray view of NGC 4945, **Astronomy and Astrophysics**, 356, 463-474, 2000
- [43] Greenhouse, Matthew A.; Grasdalen, G. L.; Woodward, C. E.; Benson, J.; Gehrz, R. D.; Rosenthal, E.; Skrutskie, M. F. The infrared coronal lines of recent novae, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.352, p.307-317, Mar. 1990
- [44] Hackwell, J. A.; Schweizer, F. Infrared mapping and UBVRI photometry of the spiral galaxy NGC 1566, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.265, p.643-647, Feb. 1983
- [45] Hanson, C. G.; Skinner, G. K.; Eyles, C. J.; Willmore, A. P. Coded mask X-ray images of the Virgo cluster. I - Hard X-rays from the Seyfert galaxy NGC 4388, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.242, p.262-266, Jan. 1990
- [46] Harnett, J. I. Radio emission from three face-on spiral galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.210, p.13-22, Sep. 1984
- [47] Harnett, J. I. Radio continuum observations of nearby galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.227, p.887-908, Aug. 1987

- [48] Heckman, T. M.; van Breugel, W.; Miley, G. K.; Butcher, H. R. Optical spectroscopy of the radio-loud nuclei of spiral galaxies - Starbursts or monsters?, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.88, p.1077-1087, Aug. 1983
- [49] Hummel, E.; van Gorkom, J. H.; Kotanyi, C. G. Anomalous radio continuum features in edge-on spiral galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 267, L5-L9, Apr. 1983
- [50] Hyland, A. R.; Allen, D. A. An infrared study of quasars, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.199, p.943-952, Jun. 1982
- [51] Iwasawa, K.; Taniguchi, Y. The X-ray Baldwin effect, 413, no.1, L15-L18, 1993
- [52] Kawara, K.; Taniguchi, Y.; Nishida, M. Forbidden Fe II 1.644 micron emission line in Seyfert and starburst galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 2 - Letters, v.328, p.L41-44, May. 1988
- [53] Kawara, K.; Nishida, M.; Gregory, B. H₂ emission from type 1 Seyferts and quasars - Molecular tori around bare nuclei, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.352, p.433-447, Apr. 1990
- [54] Kinney, A. L.; Antonucci, R. R. J.; Ward, M. J.; Wilson, A. S.; Whittle, M. The featureless continua and hydrogen lines of Seyfert 2 galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.377, p.100-114, Aug. 1991
- [55] Kinney, A. L.; Bohlin, R. C.; Calzetti, D.; Panagia, N.; Wyse, Rosemary F. G. An atlas of ultraviolet spectra of star-forming galaxies, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, v.86, n.1, p.5-93, May. 1993
- [56] Kirhakos S.D.; Steiner J. E. X-ray and infrared selected active galactic nuclei. I. The missing edge-on galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 99, 1435-1441, 1990
- [57] Koornneef, J. NGC 4945 - A postburst infrared galaxy, 403, no.2, 581-591, 1993
- [58] Kriss, G. A.; Davidsen, A. F.; Blair, W. P.; Ford, H. C.; Armus, L.; Caganoff, S.; Evans, I.; Kinney, A. L.; Hartig, G.; Dressel, L.; Rosenblatt, E. HST Imaging Observations of the Seyfert Galaxy NGC 1566, **Bulletin of the American Astronomical Society**, v.22, p.1280, Sep. 1990
- [59] Krolik, J. H. **Active galactic nuclei: From the central black hole to the galactic environment**. New Jersey: Princeton University Press, 1999
- [60] Kulkarni, V.; Axon, D. et al. Unveiling the Hidden Nucleus of IC 5063 with NICMOS, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 492, 121-124, 1997
- [61] Lepp, S.; McCray, R. X-ray sources in molecular clouds, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.269, p.560-567, Jun. 1983
- [62] Leitherer C.; Heckman, T.M. Synthetic Properties of Starburst Galaxies, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 96, 9-38, Jan 1995
- [63] Marconi, A.; Oliva, E.; van der Werf, P.P.; Maiolino, R.; Schreier, E.J.; Macchetto, F.; Moorwood, A.F.M. The Elusive Active Nucleus of NGC 4945, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 357, 24-36, Feb 2000

- [64] Meixner, M.; Puchalsky, R.; Blitz, L.; Wright, M.; Heckman, T. High-resolution CO images of Seyfert galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.354, p.158-164, May 1990
- [65] Morris, S. L.; Ward, M. J. CCD spectroscopy of the active galaxies NGC 5506 and NGC 7314, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.215, p. 57P-61P, Jul. 1995
- [66] McAlary, C.W.; McLaren, R.A.; McGonegal, R.J. A near-infrared and optical study of X-ray selected Seyfert galaxies. I. Observations, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 52, 341-362, Aug 1983
- [67] Moorwood, A. F. M.; Oliva, E. Infrared spectroscopy of forbidden Fe II, H₂, and H line emission in galactic nuclei, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, v.203, n.2, p.278-288, Sep. 1988
- [68] Moorwood, A. F. M.; Glass, I. S. Infrared activity in Circinus and NGC 4945 - Two galaxies containing luminous H₂O masers, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 135, 281-288, 1984
- [69] Moorwood, A. F. M.; Oliva, E. Extended infrared line emission excited by starburst and Seyfert activity in NGC 3256 and NGC 4945, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 429, 602-611, 1994
- [70] Moorwood, A. F. M. et al., Starburst superwind and LINER activity in NGC4945, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 308, L1-L4, 1996
- [71] Moorwood, A. F. M.; Oliva, E. Infrared spectroscopy of forbidden Fe II, H₂, and H line emission in galactic nuclei, **Astronomy and Astrophysics**, Heidelberg, 203, 278-288, 1998
- [72] Morganti R.; Tsvetanov, Z.I.; Gallimore, J.; Allen, M.G. Radio continuum morphology of southern Seyfert galaxies, **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, Heidelberg, 137, 457-472, 1999
- [73] Morse, J. A. et al. Inclined gas disks in the lenticular Seyfert galaxy NGC 5252, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 505, 159-173, 1998
- [74] Mouri, H.; Taniguchi, Y.; Kawara, K.; Nishida, M. A linear correlation between H₂ V = 1-0 S(1) and forbidden O I 6300 emission in Seyfert and starburst galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 2 - Letters, v.346, p. L73-L76, Nov. 1989
- [75] Mouri, H.; Nishida, M.; Taniguchi, Y.; Kawara, K. Excitation mechanism of forbidden Fe II 1.644 micron emission in Seyfert and starburst galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.360, p.55-62, Sep. 1990
- [76] Mouri, H.; Kawara, K.; Taniguchi, Y. The excitation mechanism of [Fe II] 1.644 micron emission in Seyfert and starburst galaxies revisited, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 406, 52-59, 1993
- [77] Mouri, H.; Kawara, K.; Taniguchi, Y. Excitation Mechanism of Near-Infrared [Fe II] Emission in Seyfert and Starburst Galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 528, 186-199, 2000
- [78] Mundell C.G.; Holloway, A.J.; Pedlar, A.; Meaburn, J.; Kukula, M.J.; Axon, D.J. Anisotropic radio and optical emission in the Seyfert nucleus of NGC 3227, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 275, 67-75, Jan 1995a

- [79] Mundell C.G.; Pedlar, A; Axon D.J.; Meaburn, J; Unger, S.W. Neutral Hydrogen Studies of the Seyfert galaxy NGC 3227, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 277, 641-654, Jun 1995b
- [80] Osterbrock, D. E.; Martel, A. Slit Spectra of Second Byurakan Survey Galaxies, 183rd American Astronomical Society Meeting #100.05; Bulletin of the American Astronomical Society, v.25, p.1440, Dec. 1993
- [81] Peletier, R.; Knapen, J.H.; Shlosman, I.; Perez-Ramirez, D.; Nadeau, D; Doyon, R.; Rodriguez Espinosa, J.M.; Perez Garcia, A.M. A Subarcsecond Resolution Near-infrared Study of Seyfert and 'Normal' Galaxies: I. Imaging Data, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 1999
- [82] Pence, W.D.; Taylor, K.; Atherton, P. Photometry and gas Kinematics of the Spiral Galaxy NGC 1566, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 357, 415-425. Jul 1990
- [83] Persson, S.E.; Murphy, D.C.; Krzeminski, D.C.; Roth, M.; Rieke, M.J. A New System of Faint Near-infrared Standard Stars, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 116, 2475-2488, Nov 1998
- [84] Peterson, B. M. **An introduction to active galactic nuclei**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997
- [85] Phillips, M. M.; Malin, D. F. NGC 4388 - A Seyfert 2 galaxy in the Virgo cluster, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.199, p.905-913, Jun 1982
- [86] Pogge R. W. Extended ionized gas in the Seyfert 2 galaxy NGC 4388, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 332, 702-710, 1988
- [87] Pogge, R. W.; De Robertis, M. M. Imaging Spectrophotometry of Markarian 573, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 451, 585-597, 1995
- [88] Pounds, K. A.; Nandra, K.; Stewart, G. C.; Leighly, K. Iron features in the X-ray spectra of three Seyfert galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.240, p.769-783, Oct. 1989
- [89] Prieto, M.A.; Freudling, W. New Evidence for an Anisotropic Radiation Field in NGC 5252, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.418, p.668-672, Dec. 1993
- [90] Prieto, M. A.; Freudling, W. The relation between the neutral and the ionized gas in NGC 5252, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 279, 63-71, 1996
- [91] Quillen, A. C.; Alonso-Herrero, A.; Rieke, M. J.; Rieke, G. H.; Ruiz, M.; Kulkarni, V. NICMOS Imaging of Molecular Hydrogen Emission in Seyfert Galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.527, n.2. p.696-708, Dec. 1999
- [92] Reichert, G. A.; Mushotzky, R. F.; Holt, S. S.; Petre, R. Soft X-ray spectral observations of low-luminosity active galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.296, p.69-89, Sep. 1985
- [93] Reif, K.; Mebold, U.; Goss, W. M.; van Woerden, H.; Siegman, B. An HI survey of southern galaxies, **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, Heidelberg, v.50, p.451-479, Dec. 1982

- [94] Rice W. et al. A catalog of IRAS observations of large optical galaxies, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 68, 91-127, 1988
- [95] Rix, Hans-Walter; Rieke, George; Rieke, Marcia; Carleton, N. P. Probing intermediate Seyfert galaxies by Pa(beta) spectroscopy, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.363, p.480-487, Nov. 1990
- [96] Roy, A. L.; Norris, R. P.; Kesteven, M. J.; Troup, E. R.; Reynolds, J. E. Compact radio cores in Seyfert galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.432, n.2, p.496-507, Sep. 1994
- [97] Rubin, Vera C.; Ford, W. Kent, Jr Spectrographic Study of the Seyfert Galaxy NGC 3227, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.154, p.431-446, Nov. 1968
- [98] Simpson, C., Forbes, D. A., Baker, A. C. & Ward, M. J. Forbidden Fe⁺ emission from active galaxies 1996, MNRAS, v.283, p.777-797, Dez. 1996
- [99] Storchi-Bergmann, T., Mulchaey, J. S. & Wilson, A. S. Infrared emission in Seyfert 2 galaxies - Reprocessed radiation from a dusty torus?, ApJL, v.395, p.L73-L77, 1992
- [100] Sadler, Elaine M.; Slee, O. B.; Reynolds, J. E.; Roy, A. L. Parsec-scale radio cores in spiral galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.276, n.4, p.1373-1381, Oct. 1995
- [101] Saikia, D. J., Hummel, E., High-Resolution Radio Observations of the Edge-On Spiral Galaxies NGC4388 and NGC4438, Proceedings of the ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies, held in Garching, F.R.G., May 16-18, 1989, Followed by an informal session on Cen A, May 19, 1989. Editors, E.J.A. Meurs and R.A.E. Fosbury; Publisher, European Southern Observatory, Garching bei Munchen, F.R.G., 1989. ISBN # 3-923524-34-X. LC # QB856 .E85. P. 165, 1989
- [102] Salamanca, I.; Baribaud, T.; Alloin, D. Size of the broad line region in NGC 3227 : results from the LAG campaign, IAU Symposium no. 159, 457 1994
- [103] Sandage, A.; Tammann, G. A. The Hubble constant as derived from 21 CM linewidths, **Nature**, London, v.307, p.326-329, Jan. 1984
- [104] Schmitt, H.R.; Kinney, A.L. A Comparison between the Narrow-Line Regions of Seyfert 1 and Seyfert 2 Galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 463, 498-508, 1996
- [105] Schmitt, H.R.; Ulvestad, J.S.; Antonucci, R.R.J; Kinney, A.L. Jet Directions in Seyfert Galaxies: Radio Continuum Imaging Data, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, Chicago, 132, 199-209, 2001
- [106] Schinnerer, E.; Eckart, A.; Tacconi, L.J. The Nuclear Stellar Cluster in the Seyfert 1 Galaxy NGC 3227: High Angular Resolution Near-infrared Imaging and Spectroscopy, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 549, 254-273, 2001
- [107] Shields, Joseph C.; Filippenko, Alexei V. Extended broad-line emission in the obscured Seyfert 1 Nucleus of NGC 4388, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 2 - Letters, v.332, p.L55-L58, Sep. 1988
- [108] Spinoglio, L.; Malkan, M. A.; Rush, B.; Carrasco, L.; Recillas-Cruz, E. Multiwavelength Energy Distributions and Bolometric Luminosities of the 12 Micron Galaxy Sample, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.453, p.616-633, Nov. 1995

- [109] Stone, John L., Jr., Wilson, Andrew S., Ward, Martin J. Collimated nuclear ejection of radio-emitting plasma in the Seyfert galaxy NGC 4388, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 330, 105-110, 1988
- [110] Storchi-Bergmann et al. Extended gas in Seyfert galaxies: near-infrared observations of NGC 2110 and Circinus, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 304, 35-46, 1999
- [111] Tadhunter C.; Tsvetanov Z. Anisotropic ionizing radiation in NGC 5252, **Nature**, London, 341, 422, 1989
- [112] Thuan, T. X.; Wadiak, E. J. Neutral hydrogen emission and absorption in three active IRR II galaxies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.252, p.125-132, Jan. 1982
- [113] Ulvestad, J. S.; Wilson, A. S. Radio structures of Seyfert galaxies. VII - Extension of a distance-limited sample, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 343, 659-671, 1989
- [114] Unger, S. W.; Pedlar, A.; Booler, R. V.; Harrison, B. A. Compact radio components in Seyfert galaxies, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.219, p.387-402, Mar. 1986
- [115] Unger, S. W.; Pedlar, A.; Axon, D. J.; Whittle, M.; Meurs, E. J. A.; Ward, M. J. The extended narrow-line region in radio Seyferts - Evidence for a collimated nuclear UV field?, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v.228, p.671-679, Oct. 1987
- [116] Veilleux, S.; Goodrich, R. W.; Hill, G. J. Infrared Spectroscopy of Seyfert 2 Galaxies: A Look through the Obscuring Torus? II., **The Astrophysical Journal**, Chicago, 477, 631-660, 1997
- [117] Wehrle, A.E.; Morris, M. An unusual radio loop in the edge-on Seyfert galaxy NGC 5506, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 2 - Letters to the Editor, v.313, p.L43-146, Feb. 1987
- [118] Willner, S. P.; Fabbiano, G.; Elvis, M.; Ward, M.; Longmore, A.; Lawrence, A. JHKL photometry of the nuclei of normal spiral galaxies, **Astronomical Society of the Pacific, Publications**, San Francisco, v.96, p.143-147, Feb. 1984
- [119] Wilson, A. S.; Baldwin, J. A.; Ulvestad, J. S. Kinematics and ionization of extended ionized gas in active galaxies. I - The X-ray luminous galaxies NGC 2110, NGC 5506, and MCG -5-23-16, **The Astrophysical Journal**, Chicago, Part 1, v.291, p.627-654, Apr. 1985
- [120] Wilson; Baldwin, 0714 - 2914 (M4-1) - Another Seyfert galaxy with aligned radio continuum and optical emission-line morphologies, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 98, 2056-2061, 1989
- [121] Wilson, A. S.; Braatz, J. A.; Heckman, T. M.; Krolik, J. H.; Miley, G. K., The Ionization Cones in the Seyfert Galaxy NGC 5728, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 419, L61-L64, 1993
- [122] Wilson, A. S., Book Review: Emission lines in active galaxies : new methods and techniques, eds. B. M. Peterson, F.-Z. Cheng, and A. S. Wilson (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), 1997

- [123] Wilson, A. S.; Shopbell, P. L.; Simpson, Chris; Storchi-Bergmann, T.; Barbosa, F. K. B.; Ward, M. J. Hubble Space Telescope Imaging of the Circinus Galaxy, **The Astrophysical Journal**, Chicago, v.120, n.3, p.1325-1341, Oct. 2000
- [124] Winge et al. The Narrow-Line Region of NGC 4151: A Turbulent Cauldron, **The Astrophysical Journal**, Chicago, 487, L121-L124, 1997
- [125] Winge et al. Extended gas in Seyfert galaxies: near-infrared observations of 15 active nuclei, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, 316, 1-18, 2000