

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

**Caracterização das regiões
circumnucleares de galáxias Seyfert 1
versus Seyfert 2 no ultravioleta próximo ***

Patrícia Figueiró Spinelli

Dissertação realizada sob orientação da Professora Dra. Thaisa Storch Bergmann e apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física.

Porto Alegre

Agosto, 2007

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

Um dia você aprende que ...

William Shakespeare

(...)

O que importa não é o que você tem na vida, mas quem você tem na vida, e que bons amigos são a família que nos permitiram escolher.

(...)

Começa a aprender que não se deve comparar-se com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto.

(...)

E você aprende que realmente pode suportar... que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais.

Para João, Marta e Fabiana.

Agradecimentos

É difícil seguir adiante quando muitas dificuldades começam aparecer no caminho escolhido. Porém quando se possui certeza da escolha feita, a paciência torna-se a maior aliada e a dificuldade aos poucos vai sendo ultrapassada e esquecida. Quando a gente realmente acredita no que faz, não serão os finais de semanas intensos de trabalho ou as intermináveis noites mal dormidas os obstáculos da nossa vida. O prazer de fazer o que se gosta supera tudo, e um dia vem a recompensa.

As dificuldades fizeram-me amadurecer profissionalmente e neste processo pessoas importantes estiveram ao meu lado. Não tenho palavras para agradecer as duas pessoas que realmente me ajudaram para que essa dissertação fosse concluída: a minha orientadora Thaisa, que sempre esteve pronta para discutir o trabalho por horas a fio com muito entusiasmo, e ao nosso colaborador, Henrique Schmitt, que não mediu esforços para ajudar-me neste trabalho mesmo à distância, através de seus inúmeros e-mails.

As dificuldades não teriam sido superadas sem esforço e muito estudo. Portanto, eu gostaria de agradecer as pessoas que me incentivaram e não me deixaram desistir. Agradeço aos meus colegas de laboratório e amigos do coração Lili, Gustavo e Carlos e ao colega de curso Fernando. Ao Carlos, o meu agradecimento é especial, por ter sido meu companheiro neste último ano e que sempre esteve presente em todos os momentos, auxiliando-me desde às questões relacionadas ao trabalho, quanto na contribuição de dias melhores e mais felizes na minha vida. Seu incentivo foi indispensável para que eu chegasse até aqui. Agradeço às meninas do apartamento 12: Iara, Cati, Jana e também a Cló, que foram verdadeiramente uma família para mim em Porto Alegre. E finalmente, agradeço aos amigos do bem: Kari, Ghisi, Gigi, Eduardo e Rafael, pelos momentos de descontração mais divertidos dos últimos tempos.

Por fim, agradeço àqueles que em qualquer lugar que eu esteja, sempre perdoam minha ausência, sempre me incentivam, sempre querem meu bem e sempre respeitam a minha vontade. As pessoas que eu mais amo nesse mundo: meu pai João, minha mãe Marta e minha irmã Fabiana.

Patrícia Figueiró Spinelli

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Agosto 2007

Resumo

A natureza da emissão ultravioleta proveniente das regiões centrais de galáxias Seyfert ainda não é bem entendida e é assunto para grandes discussões. Com o objetivo de caracterizar essas regiões, apresentamos uma análise comparativa de uma amostra que contém 28 galáxias Seyfert 1–1.9 com uma amostra que contém 28 galáxias Seyfert 2. As amostras estão relacionadas pelas seguintes propriedades de suas galáxias hospedeiras: distância, morfologia, razão axial e luminosidade. As imagens foram obtidas com a câmara ACS do Telescópio Espacial Hubble (HST) no ultravioleta próximo. A principal contribuição do presente trabalho é a subtração da fonte puntual nuclear nas imagens das galáxias Seyfert 1–1.9, que permite uma análise comparativa da morfologia e dos resultados fotométricos das regiões circumnucleares. Sem a presença do núcleo brilhante não resolvido nas imagens das galáxias de tipo 1, encontramos estruturas similares em ambas amostras tais como nós, filamentos, anéis de formação estelar, espirais, emissão difusa, etc. Utilizando tarefas do IRAF, estimamos o tamanho e a luminosidade da emissão. Ao contrário de trabalhos prévios, nós encontramos extensões similares ($\sim 1 - 2$ kpc) para a emissão das galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2, bem como luminosidade e distribuição dos perfis de brilho superficial similares. Nossos resultados não são compatíveis com qualquer tipo de diferença entre as galáxias hospedeiras ou nas regiões circumnucleares de ambos tipos de núcleo.

Abstract

The nature of the ultraviolet light emitted by the central regions of the Seyfert galaxies is a matter of current debate. With the goal of characterize these regions, we present a comparative analysis of ACS/HST images in the near-UV of a sample of 28 Seyfert 1–1.9 galaxies and a paired sample of 28 Seyfert 2 galaxies, matched according to the following properties of the host galaxies: distance, morphology, axial ratio and luminosity. The main contribution of the present work is the subtraction of the nuclear point source in the Seyfert 1–1.9 subsample which allows the comparative analysis of the morphology and the photometry of the circumnuclear regions. Without the presence of a bright unresolved nuclei for type 1, we find similar structures in both subsamples such as knots, filaments, star-forming rings, spirals, clumpy diffuse light emission, etc. We use use IRAF tasks to estimate the size and the luminosity of the emission. Contrary to the previous works, we find similar extends ($\sim 1 - 2$ kpc) for the emission in the Seyfert 1 and Seyfert 2 galaxies, as well as similar luminosity and surface brightness distributions. Our results do not support any difference between the host galaxies or circumnuclear environment of both types of nuclei.

Sumário

Agradecimentos	ii
Sumário	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
1 Introdução	1
2 Observações	8
2.1 Amostra	9
2.2 Configuração instrumental das observações	15
3 Metodologia	16
3.1 Tratamento dos dados	18
3.1.1 Correção das imagens saturadas	18
3.1.2 Remoção da fonte puntual	21
3.2 Análise fotométrica	29
3.2.1 Localização do máximo da emissão	29
3.2.2 Caracterização das regiões circumnucleares	31
3.2.3 Fotometria	35
4 Resultados	38
4.1 Imagens resultantes das galáxias Seyfert 1 vs. Seyfert 2	38
4.2 Subtração da PSF	39
4.3 Morfologia	54
4.3.1 Extensão da emissão	54
4.3.2 Elipticidade	59
4.4 Fotometria	60
4.4.1 Perfis de brilho superficial	60

4.4.2	Magnitudes integradas nas regiões: 200–500 pc, 200–1000 pc e 500–1000 pc	74
5	Conclusões	79
5.1	Principais resultados	79
5.1.1	Subtração da PSF	79
5.1.2	Morfologia	79
5.1.3	Fotometria	80
5.2	Relevância do trabalho	81
5.3	Perspectivas	81
	Apêndice A Redução de Dados usando o IRAF	83
	Referências Bibliográficas	95

Lista de Tabelas

2.1	Propriedades da amostra	12
3.1	Regiões saturadas substituídas	21
4.1	Percentagem de subtração de PSF	39
4.2	Principais resultados	57
4.3	Pares cuja extensão de uma galáxia é maior que a outra por um fator de 1.5	58
4.4	Resumo dos principais resultados da morfologia	59
4.5	Resumo dos principais resultados da fotometria	78

Lista de Figuras

1.1	Esquema do modelo unificado	5
2.1	Distribuição de distâncias da amostra	10
2.2	Distribuição de razões axial da amostra	13
2.3	Distribuição de tipos morfológicos da amostra	14
3.1	Distorção nas imagens da câmara ACS	17
3.2	Perfil de saturação ao longo de uma coluna	19
3.3	Perfil de saturação ao longo de uma linha	19
3.4	Perfil da imagem saturada vs. perfil da imagem não saturada	20
3.5	Exemplo de PSF	22
3.6	Exemplo de PSF de referência	24
3.7	Perfil de uma galáxia que cuja PSF foi subtraída da imagem	25
3.8	Perfil de uma galáxia que cuja PSF não foi subtraída da imagem	25
3.9	Subtração da PSF em fatores de 5% para a galáxia NGC 3227	26
3.10	Subtração da PSF em fatores de 5% para a galáxia NGC 7469	27
3.11	Escolha da melhor subtração da PSF	29
3.12	Exemplo de obscurecimento da fonte central	30
3.13	Exemplos de elipses adotadas para as distribuições ultravioleta	33
3.14	Mais exemplos de elipses adotadas para as distribuições ultravioleta: casos extremos	34
3.15	Exemplo de aberturas poligonais concêntricas que aproximam-se de aberturas elipsoidais	36
4.1	Pares de galáxias após a subtração da PSF	40
4.2	Continuação da figura dos pares	41
4.3	Continuação da figura dos pares	42
4.4	Continuação da figura dos pares	43
4.5	Continuação da figura dos pares	44
4.6	Continuação da figura dos pares	45

4.7	Continuação da figura dos pares	46
4.8	Continuação da figura dos pares	47
4.9	Continuação da figura dos pares	48
4.10	Continuação da figura dos pares	49
4.11	Teste de correlação da percentagem de subtração da PSF com a razão axial da galáxia	50
4.12	Teste de correlação da percentagem de subtração da PSF com o tipo de Hubble galáxia	51
4.13	Teste de correlação da percentagem de subtração da PSF com a magnitude B da galáxia	52
4.14	Brilho superficial da galáxia MRK 766 antes e depois da subtração da PSF, juntamente com a PSF de referência	53
4.15	Brilho superficial da galáxia MRK 915 antes e depois da subtração da PSF, juntamente com a PSF de referência	53
4.16	Brilho superficial da galáxia NGC 5728 antes e depois da subtração da PSF, juntamente com a PSF de referência	54
4.17	Distribuição de extensões da emissão ultravioleta	58
4.18	Distribuição de elipticidades da emissão ultravioleta	60
4.19	Teste de correlação entre razão axial da emissão ultravioleta e da galáxia	61
4.20	Perfis de brilho superficial completos	63
4.21	Continuação dos perfis de brilho superficial completos	64
4.22	Continuação dos perfis de brilho superficial completos	65
4.23	Continuação dos perfis de brilho superficial completos	66
4.24	Continuação dos perfis de brilho superficial completos	67
4.25	Perfis de brilho superficial do kiloparsec central	68
4.26	Continuação dos perfis de brilho superficial do kiloparsec central	69
4.27	Continuação dos perfis de brilho superficial do kiloparsec central	70
4.28	Continuação dos perfis de brilho superficial do kiloparsec central	71
4.29	Continuação dos perfis de brilho superficial do kiloparsec central	72
4.30	Perfis de brilho superficial médio para galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2	73
4.31	Perfis de brilho superficial médio para galáxias Seyfert 1–1.5 e Seyfert 1.8–1.9	73
4.32	Distribuição de magnitudes absoluta entre 200 pc e 500 pc	75
4.33	Distribuição de magnitudes absoluta entre 200 pc e 1000 pc	76
4.34	Distribuição de magnitudes absoluta entre 500 pc e 1000 pc	77

Capítulo 1

Introdução

Galáxias são agrupamentos de estrelas, gás e poeira, ligados pela interação gravitacional gerada pelos seus próprios constituintes e podem conter desde poucos milhões até dez trilhões de estrelas. A grande maioria das galáxias tem forma mais ou menos regular quando observadas em projeção no céu e são classificadas morfologicamente a partir das duas características estruturais básicas. A primeira delas é um disco mais ou menos plano de estrelas que pode conter também gás e poeira e a segunda é uma componente esferoidal, chamada bojo. Galáxias elípticas são sistemas puramente esferoidais enquanto que as espirais compreendem ambos componentes: bojo e disco. No disco, braços espirais podem ser observados. As galáxias que não têm braços espirais são chamadas de lenticulares, enquanto que as que os têm são chamadas de espirais. As galáxias que não possuem forma definida são chamadas de irregulares.

Em galáxias elípticas e no bojo das espirais, o núcleo corresponde à região onde as estrelas estão densamente concentradas e portanto a emissão ótica possui um máximo quando comparada com o resto da galáxia. Diferentes tipos de atividade podem ser encontrados em alguns núcleos, como por exemplo nas galáxias chamadas *starbursts* que apresentam intensa formação estelar recente na região nuclear e a emissão de energia é gerada nas atmosferas das estrelas quentes e no gás ionizado por elas. Em outras galáxias, além da radiação estelar, o núcleo apresenta uma emissão de energia que não pode ser atribuída às estrelas. Neste caso, diz-se que a galáxia apresenta um núcleo ativo (AGNs, do inglês *Active Galactic Nuclei*) que em geral são muito brilhantes e compactos, irradiando quantidades de energia semelhantes em quase todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Essa atividade, ao contrário das galáxias *starburst*, não pode ser associada diretamente às estrelas que emitem espectros tipo corpo negro, e portanto, bastante concentrados em um intervalo relativamente pequeno de comprimentos de onda. Além disso, a emissão central dos AGNs não é resolvida pelos telescópios que dispomos atualmente, o que coloca um limite superior ao tamanho da região emissora da ordem de meses-luz.

A atividade dos AGNs é um fenômeno intrigante. No caso dos AGNs mais luminosos, a potência emitida varia entre $\sim 10^{42}$ e $\sim 10^{46}$ erg s⁻¹. Considerando que uma galáxia típica possui uma luminosidade da ordem $\sim 10^{44}$ erg s⁻¹, um AGN pode ser até 100 vezes mais brilhante, mesmo estando confinado em um volume que é da ordem $\sim 10^{30}$ vezes menor que o volume da galáxia hospedeira. Além disso, a radiação emitida provém de um amplo intervalo do espectro eletromagnético, irradiando desde comprimentos de onda de rádio até raios gama. A velocidade do material emissor, inferida a partir da largura das linhas de emissão pode superar 1000 km s⁻¹. Esses aspectos, entre outros, dizem-nos que algo extraordinário está acontecendo nestes núcleos que desafiam a nossa compreensão sobre sua natureza física, abrindo um fascinante campo de estudo para a astronomia.

O primeiro estudo observacional dos AGNs foi feito por Edward A. Fath, em 1908. Ele estudava o espectro da galáxia NGC 1068, onde reconheceu linhas de absorção que foram entendidas como luz proveniente de estrelas muito distantes para serem resolvidas, e seis linhas de emissão bem conhecidas hoje e na época, características de nebulosas gasosas. Essas linhas eram bem resolvidas e possuíam larguras que correspondem, no espaço de velocidades, a centenas de quilômetros por segundo. Na época em que Fath fez seus estudos, o conceito de galáxias não era bem claro, e a diferença entre núcleos normais ou ativos também não era conhecida. Apenas em 1943, Carl Seyfert reconheceu que a NGC 1068 juntamente com outras galáxias formavam uma classe distinta, cujos núcleos eram extremamente brilhantes e compactos e seus espectros apresentavam muitas linhas de emissão originadas em regiões altamente ionizadas. Posteriormente essas galáxias foram chamadas de Seyfert.

Na década de 60, cientistas identificaram que a fonte 3C 48 do catálogo de rádio 3C (*3rd Cambridge Catalog of Radio Sources*), tinha aparência e magnitude estelar. Seu espectro ótico apresentava linhas de emissão que não foram identificadas, mas mesmo assim o objeto foi classificado como uma estrela rádio. Dois anos depois encontrou-se outra fonte, a 3C 273, com as mesmas características. As linhas de emissão desse objeto foram identificadas como sendo de hidrogênio e oxigênio, que são típicas de objetos gasosos. Elas estavam deslocadas em comprimento de onda $\sim 16\%$ das suas posições no referencial de repouso, indicando que o objeto estava a uma distância de 2 bilhões de anos luz segundo a lei de Hubble. Imediatamente tornou-se claro que eram astros extremamente luminosos que podiam ser observados a grandes distâncias e que definitivamente não podiam ser estrelas. Descobria-se então uma outra classe de galáxias com núcleos compactos ainda mais brilhantes que as Seyferts, os quasares. A palavra quasar origina-se da sigla QSRS (*Quasi-Stellar Radio Source*), devido à aparência estelar dos objetos. Passou-se uma década até que a comunidade astronômica aceitasse a idéia de que os quasares e Seyferts são manifestações de um mesmo fenômeno astrofísico, diferindo somente na luminosidade emitida: os quasares correspondem às mais altas luminosidades nucleares enquanto que as galáxias Seyfert têm luminosidades mais baixas. Atualmente, conhecemos núcleos ativos com luminosidades

ainda menores que as galáxias Seyfert, os chamados LINERs (do inglês, *Low Ionization Emission Line Regions*).

Núcleos Seyfert constituem $\sim 5 - 10\%$ das galáxias do universo local. Suas magnitudes absolutas na banda azul são $M_B > -21.5 + 5 \times \log h_0$, com $h_0 = H/100$, onde H é o valor atual da constante de Hubble (Schmidt & Green 1983).

A definição original proposta em 1943 por Carl Seyfert levava em conta o brilho superficial dos núcleos, ou seja, foi baseada puramente na morfologia e na luminosidade. Atualmente a definição das galáxias Seyferts está relacionada com a presença de linhas de emissão nos seus espectros que são produzidas em regiões altamente ionizadas. A presença ou ausência de linhas largas produzidas por transições permitidas levou a uma a uma classificação adicional em dois tipos (Khachikian & Weedman 1974): Seyfert 1 e Seyfert 2. As Seyfert 1 possuem dois conjuntos de linhas superpostos: linhas largas (FWHM $\sim 1 - 5 \times 10^3$ km s $^{-1}$) devido à transições permitidas, e linhas estreitas (FWHM ~ 500 km s $^{-1}$), que são devido à transições permitidas e também às transições chamadas de proibidas. Estas últimas levam esse nome por não serem observadas em laboratório, pois ocorrem somente em densidades muito baixas, menores do que os melhores vácuos obtidos em laboratório. Nas Seyfert 2, ambos tipos de transições dão origem a linhas estreitas. As linhas estreitas, como [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007$; [N II] $\lambda\lambda 6548, 6583$ e [S II] $\lambda\lambda 6716, 6731$ são produzidas em regiões onde o gás ionizado possui densidades eletrônicas $n_e \approx 10^3 - 10^6$ cm $^{-3}$. Apesar do nome, as larguras típicas das linhas estreitas são maiores que as que observamos em outros objetos (como nuvens com formação estelar, por exemplo). As linhas largas, devido aos átomos e íons de como H I, He I e He II são produzidas por um gás mais denso com $n_e \approx 10^9$ cm $^{-3}$.

Os tipos de Seyfert ainda podem ser mais subdivididos. Osterbrock (1981) introduziu os conceitos de Seyfert 1.5, Seyfert 1.8 e Seyfert 1.9, de acordo com a largura e emissão relativa das componentes largas: à medida que as componentes largas vão tornando-se mais estreitas a classificação numérica vai crescendo.

Ainda existem outros tipos de AGNs, cuja classificação depende do tipo e da quantidade de radiação emitida. Em geral, a taxonomia não é muito clara pois a física do AGN ainda não é bem entendida. Além de galáxias Seyfert e quasares, temos as rádio galáxias e os objetos BL Lacertae, além dos LINERS mencionados acima.

O fato dos quasares irradiarem mais que vários trilhões de estrelas num volume significamente menor que um parsec cúbico, fez os cientistas da época em que foram descobertos questionarem-se sobre qual mecanismo seria suficientemente eficiente para produzir tais luminosidades. Era evidente que reações como as que ocorrem no interior das estrelas (reações termonucleares) eram incapazes de reproduzir as prodigiosas luminosidades. Os primeiros passos no caminho que levou à explicação da natureza física dos AGNs foram dados simultaneamente em 1964 pelos trabalhos de Zel'Dovich & Novikov (1964) e Salpeter (1964) independentemente. Ambos estudos sugeriram que o acréscimo de gás à

buracos negros supermassivos poderia ser a principal fonte de energia dos AGNs. Deste modo, cada AGN deveria conter um buraco negro com massas no intervalo $10^6 - 10^9 M_{\odot}$ que está acretando matéria de sua vizinhança, transformando a energia gravitacional em radiação de uma forma eficiente, e portanto implicando a emissão de quantidades copiosas de energia. O agente dessa transformação é o chamado disco de acreção, onde a matéria é capturada e pela perda de momentum angular cai no buraco negro após percorrer uma trajetória espiral em direção ao centro. Muitas evidências fazem com que esse paradigma ainda hoje seja o mais aceito, especialmente porque esse modelo é o que requer o menor suplemento de “combustível” para o objeto compacto, de tal forma que a luminosidade do AGN é proporcional à massa acretada. Para um núcleo Seyfert isso corresponde a $0.001 M_{\odot} \text{ ano}^{-1}$. Ao leitor interessado numa discussão básica sobre a origem do dos discos de acreção, recomendamos a seção 3.2 de Peterson (1997).

Devido ao fato dos AGNs compartilharem várias propriedades semelhantes, alguns modelos que fossem capazes de explicar todos os AGNs através de um único fenômeno foram propostos. O modelo mais aceito atualmente, o Modelo Unificado, evoluiu da idéia proposta por Osterbrock (1978), que considerava as atividades das galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 o mesmo fenômeno visualizados sob diferentes ângulos. Nesta hipótese, as galáxias Seyfert 2 tinham linhas de emissão largas mas que estavam ocultadas por um toróide de poeira. Observando o núcleo ao longo do eixo do toróide, as linhas largas e estreitas seriam vistas, ou seja, o objeto em questão seria uma galáxia Seyfert 1. Observando o núcleo perpendicularmente ao eixo do toróide, somente as linhas estreitas seriam visíveis, e o objeto seria classificado como uma galáxia Seyfert 2. A figura 1.1 esquematiza o modelo unificado: no centro, temos o buraco negro supermassivo que é alimentado pelo disco de acreção – o disco não está mostrado nesta figura. A região responsável pela emissão das linhas largas está ilustrada pelos pontos azuis e a região responsável pela emissão de linhas estreitas está ilustrada em amarelo. Em vermelho, está ilustrado o toróide de poeira, responsável pelo obscurecimento das linhas largas na galáxias Seyfert 2. Jatos colimados emitidos em rádio saem das regiões centrais, ilustrados em preto. Dependendo da orientação que estamos olhando o AGN, diferentes tipos de atividades são diagnosticadas.

Entre as evidências observacionais mais contundentes sobre o Modelo Unificado, estão as observações de Antonucci & Miller (1985) e Miller & Goodrich (1990), que mostraram que algumas galáxias Seyfert 2 têm espectro de Seyfert 1 quando observadas em luz polarizada. A interpretação deste resultado é que estamos vendo a luz espalhada do núcleo Seyfert 1 que está escondido pelo toróide nas Seyfert 2. Concluiu-se que a luz azul que se observada nas Seyfert 2 fosse devida ao contínuo espalhado do AGN, que é azul. Entretanto, outros estudos de Seyfert 2 com luz polarizada (Tran 1995) mostraram que a luz polarizada do contínuo é menor que a das linhas largas, mesmo após a subtração de uma população estelar velha, típica do bojo das galáxias. Esse resultado é melhor interpretado se a luz azul

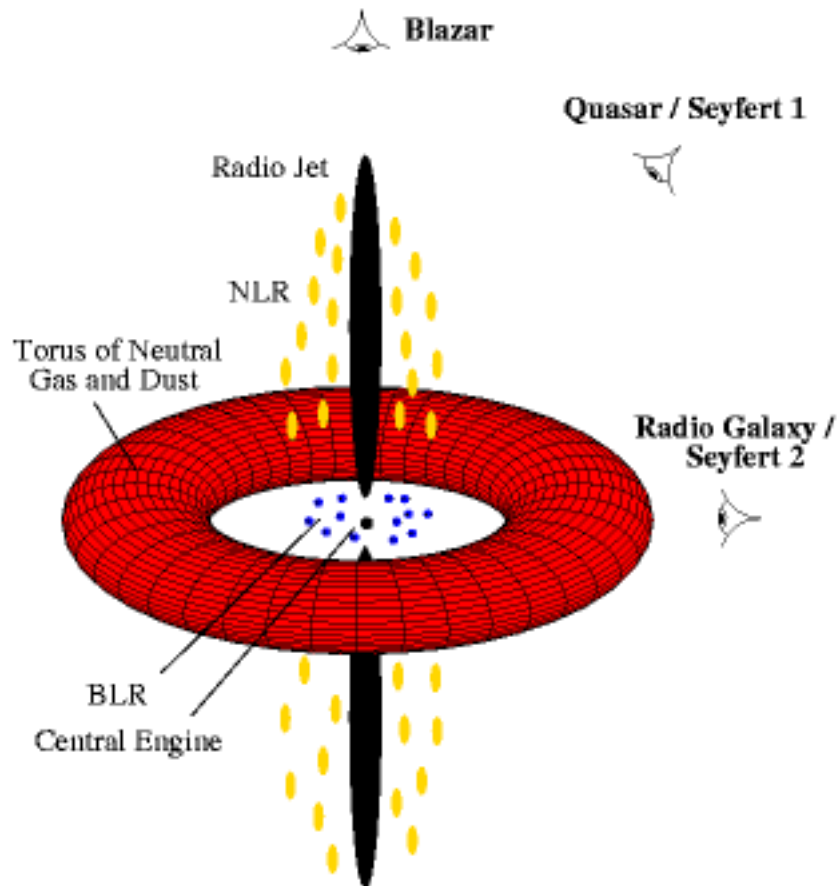


Figura 1.1: Concepção ilustrativa do modelo unificado. A ilustração não mantém as proporções reais (ilustração extraída de <http://www.jb.man.ac.uk/research/agn/neutral.html>).

enxergada nas Seyfert 2 for dominada por outra fonte ao invés da luz espalhada do AGN. Cid Fernandes & Terlevich (1995) propuseram uma alternativa para luz azul enxergada em Seyfert 2, dizendo que *starbursts* fortemente avermelhados poderiam ser essa fonte. Uma outra possibilidade é que os dois mecanismos, luz espalhada e luz de origem estelar, sejam importantes nas galáxias Seyfert 2.

A origem estelar – devido à *starbursts* – utilizada para explicar o contínuo azul de galáxias Seyfert 2 é fortemente suportada pelas observações feitas com o Telescópio Espacial. González Delgado et al. (1998) e Heckman et al. (1997) encontraram linhas ocasionadas por ventos em estrelas de tipo espectral O no espectro ultravioleta de quatro galáxias Seyfert 2. Linhas de alta ordem da série de Balmer do H e do He I e algumas assinaturas de estrelas Wolf-Rayet mostram que a população estelar jovem e intermediária é significativa, se não dominante, na região compreendida a 100 pc do núcleo em muitas Seyfert 2 (González

Delgado et al. 1998, 2001, Storchi-Bergmann et al. 2000). Cid Fernandes et al. (1998), Storchi-Bergmann et al. (1998) e Schmitt et al. (1999) mostraram que o espectro no ótico das galáxias Seyfert 2 possui uma larga contribuição de estrelas jovens ($\leq 10^8$ anos) e esse resultado foi confirmado depois por Oliva et al. (1995, 1999) através de espectroscopia no infravermelho. Nas regiões circumnucleares *starbursts* potentes foram identificados em 40% das galáxias Seyfert 2 próximas, detectados por espectroscopia no ultravioleta e/ou ótico nos 100 pc centrais (González Delgado et al. 2001, Cid Fernandes et al. 2001, 2004).

Os estudos sobre a população estelar discutidos tem sido feitos principalmente em galáxias Seyfert 2, pois nas Seyfert 1 a fonte central ofusca a emissão estelar da galáxia. Mas, de acordo com o Modelo Unificado, a única diferença entre os dois tipos de atividade é a orientação com que observamos o núcleo ativo. Assim, se encontramos estrelas jovens nas galáxias Seyfert 2 elas também devem estar presentes nas galáxias Seyfert 1 se valer o Modelo Unificado.

Por outro lado, a determinação das propriedades da população estelar nas regiões nucleares e circumnucleares é muito importante para o entendimento da evolução dos buracos negros supermassivos. Após estudos feitos com o Telescópio Espacial sabemos que buracos negros supermassivos habitam não só os AGNs mas estão presentes no núcleo de todas as galáxias que contém um bojo (Magorrian et al. 1998). Devido às fortes correlações observadas entre a massa do buraco negro e a velocidade de dispersão no bojo (Ferrarese & Merritt 2000, Gebhardt et al. 2000), sabemos que a formação e o crescimento do buraco negro estão estreitamente ligados à evolução do bojo da galáxia hospedeira. Ou seja, bojos massivos com grande densidade de estrelas, gás e poeira, teriam buracos negros mais massivos. Esta evidência pode ser observada em altos *redshifts*, onde a atividade dos quasares fez parte da formação das galáxias elípticas, que hoje possuem buracos negros muito massivos. Essa evidência mostra indiretamente que, no passado intensa formação estelar e atividade nuclear coexistiam. Atualmente, não se sabe se há uma relação causal entre atividade nuclear e formação estelar. A conexão entre AGNs e formação estelar está dividida em dois cenários: um que defende que a formação estelar é uma peça chave para a atividade nuclear através de processos simbióticos e evolucionários (Perry & Dyson 1985, Norman & Scoville 1988, Williams et al. 1999) e outro que defende que formação estelar e atividade nuclear são fenômenos desacoplados. Neste último caso, as atividades podem coexistir pois necessitam de mecanismos similares para ocorrer, mas não necessariamente precisam uma da outra. Esses mecanismos são os responsáveis por deslocar o gás das partes externas das galáxias até o núcleo, concentrando-no e criando condições para desencadear a formação estelar e a atividade nuclear (Shu et al. 1987, Shlosman et al. 1990). O estudo das regiões próximas ao núcleo podem nos ajudar a entender a conexão dos AGNs com a formação estelar. Além disso, o estudo dessas regiões podem esclarecer sobre o mecanismo que alimenta o buraco

negro, já que tanto as galáxias ativas quanto as não ativas podem conter um buraco negro. A diferença entre as galáxias que apresentam atividade e as que não apresentam está associada ao fato de que nas galáxias ativas o buraco negro está sendo alimentado por um “combustível” disponível, enquanto que nas não ativas o buraco negro está inativo devido à ausência de “combustível”. Vários estudos comparativos entre galáxias ativas e não ativas têm procurado por diferenças, entre elas que poderiam explicar a origem da atividade. Storchi-Bergmann et al. (1996, 2000); Cid Fernandes et al. (1998, 2001) e Schmitt et al. (1999) encontraram que galáxias ativas parecem possuir um excesso de população jovem na região central (dentro do kiloparsec central, aproximadamente). Isto também sugere a relação entre a atividade nuclear e a formação estelar. Portanto, o estudo de formação estelar em regiões circumnucleares mostram-se importantes não só para o entendimento das diferenças entre as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2, mas é crucial para o entendimento da origem da atividade nuclear.

Com o objetivo de investigar a natureza da luz azul e ultravioleta nas regiões circumnucleares das galáxias Seyfert, e tentar entender melhor a diferença entre as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2, Schmitt et al. propuseram um *survey* de 73 galáxias Seyfert no ultravioleta próximo com o Telescópio Espacial. Os resultados preliminares das observações foram recentemente apresentados por Muñoz Marín et al. (2007). Este trabalho publicado consiste essencialmente de um Atlas de imagens ultravioleta, onde foram feitas algumas análises como: descrição da morfologia ultravioleta, determinação da presença de núcleos compactos não resolvidos, magnitude aparente e extensão da emissão, identificação da população estelar em aglomerados na região circumnuclear, etc. O presente trabalho tem como principal objetivo a caracterização e comparação das regiões circumnucleares entre os dois tipos Seyfert da amostra de Schmitt et al. Para tanto, a remoção da contribuição nuclear das Seyfert 1 faz-se necessária, uma vez que a fonte central ofusca a emissão destas regiões por ser muito mais brilhante. Para fazermos a comparação, uma subamostra foi escolhida de tal forma que cada galáxia Seyfert 1 tivesse uma galáxia Seyfert 2 cujas propriedades de suas galáxias hospedeiras fossem semelhantes. Essas propriedades são: distância, tipo morfológico de Hubble, razão axial e magnitude absoluta na banda B. No total, a nossa amostra contém 28 pares de galáxias Seyfert 1–Seyfert 2. Neste estudo, caracterizamos a extensão e estimamos a magnitude absoluta das regiões após a subtração da PSF. A busca pelas diferenças ou semelhanças nas regiões circumnucleares das galáxias da amostra escolhida pode colaborar a favor ou contra o Modelo Unificado.

O trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 explicamos detalhes da amostra escolhida e das observações, no capítulo 3 descrevemos a metodologia adotada para os cálculos de extensão e magnitudes, no capítulo 4 apresentamos os resultados e no capítulo 5 apresentamos as conclusões. Os detalhes dos programas utilizados durante a realização do trabalho estão no apêndice A.

Capítulo 2

Observações

Henrique Schmitt e seus colaboradores através do projeto PROPOSID 9379 executado no ciclo 13 de observações do Telescópio Espacial Hubble (HST) obtiveram imagens de 73 galáxias Seyfert no ultravioleta próximo usando a câmara HRC (*High Resolution Channel*) da *Advanced Camera for Surveys* (ACS). O filtro utilizado foi F330W. A escolha da amostra - além de motivada pelo objetivo científico de estudar a natureza da luz azul/ultravioleta das galáxias Seyfert - também levou em conta a existência de dados no arquivo público do telescópio em outras bandas, o que tornava a amostra muito mais útil para trabalhos futuros. Assim sendo, a amostra é formada por todas as galáxias Seyfert que já possuíam imagens no ótico (observadas com a *Wide Field e Planetary Camera 2* - WFPC2) e infravermelho (observadas com o instrumento *Near Infrared Camera and Multi Object Spectrometer* - NICMOS) no arquivo do Telescópio Espacial. O número total de Seyferts observadas pelo HST com as câmeras 1 ou 2 do NICMOS no filtro F160W era 112 (Quillen et al. 2001), mas apenas 101 também foram observadas com a WFPC2 com os filtros F606W, F555W ou F546W (Malkan et al. 1998). Schmitt et al. propuseram observações dessas 101 galáxias com a ACS porém somente 73 observações foram concluídas. Suas imagens complementaram o banco de dados do Telescópio Espacial, fornecendo um atlas pancromático das regiões internas das galáxias Seyfert e que pode ser utilizado por astrônomos de diferentes áreas do conhecimento. Resultados preliminares das observações, juntamente com os de mais duas galáxias observadas em outra proposta, foram recentemente concluídos por Muñoz Marín et al. (2007). Os resultados publicados nesse trabalho consistem essencialmente de um Atlas de imagens ultravioleta e da fotometria das mesmas.

Como o objetivo do nosso trabalho é o estudo da emissão ultravioleta nas regiões circumnucleares das Seyferts e em particular a comparação dessas regiões entre os tipos Seyfert, escolhemos uma subamostra das galáxias de Muñoz Marín et al. (2007) composta de pares Seyfert 1 e Seyfert 2 de modo que cada galáxia com atividade de tipo 1 tivesse uma galáxia com propriedades similares, porém com atividade tipo 2, totalizando 28 pares.

Na seção 2.1 descrevemos a amostra e na seção 2.2 explicamos como as observações foram executadas.

2.1 Amostra

Da amostra de Muñoz Marín et al. (2007) selecionamos todas as galáxias classificadas como Seyfert 1, 1.2, 1.5, 1.8 e 1.9. Para cada uma delas procuramos por uma Seyfert 2 cuja galáxia hospedeira possuíse *redshift*, tipo morfológico de Hubble, razão axial e magnitude absoluta na banda B similares. Os valores para esses parâmetros foram obtidos do NED*. Nosso critério inicial foi de que *redshifts* e a razão axial dos pares não diferissem em mais de 40% e a magnitude em ± 1.5 magnitudes. Os tipos morfológicos foram escolhidos de forma que a diferença no parâmetro T fosse menor que dois. O valor de T foi obtido do catálogo RC3 que utiliza a classificação de de Vaucouleurs (de Vaucouleurs et al. 1991). Embora critérios tenham sido estabelecidos, tivemos que relaxar os mesmos em alguns casos para aumentar o número de pares. A tabela 2.1 mostra os pares de galáxias escolhidos e seus parâmetros correspondentes. As seis primeiras colunas mostram as informações para as galáxias Seyfert 1, que são: identificação, tipo morfológico de Hubble, parâmetro T, velocidade radial em km s^{-1} , razão axial (b/a) e magnitude na banda B. As seis colunas restantes mostram esse mesmo conjunto de informações para as galáxias Seyfert 2, de modo que uma mesma linha contenha as mesmas informações sobre as duas galáxias do par.

As distâncias das galáxias foram calculadas a partir das velocidades radiais utilizando a lei de Hubble com $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1}$. Para os objetos com $V_r \leq 1200 \text{ km s}^{-1}$ as distâncias foram obtidas da literatura. Essas galáxias e suas respectivas distâncias são: Circinus, 4Mpc (Freeman et al. 1977); NGC 3031, 3.63Mpc (Freedman et al. 1994); IC 4870, 9.3Mpc e NGC 4941, 15.6Mpc (obtidas do NED, segundo Mould et al. 2000) e NGC 3227, 17.3Mpc (Garcia 1993). De Tully (1988) obtivemos os valores para: NGC 3486, 7.4 Mpc; NGC 4258, 6.8Mpc; NGC 4395, 3.6Mpc; NGC 5005, 21.3 Mpc; NGC 5033, 18.7Mpc; NGC 5194, 7.7 Mpc; NGC 5273, 21.3 Mpc e NGC 6300, 14.3 Mpc. A figura 2.1 mostra a distribuição de distâncias da amostra. Como na maioria das amostras de galáxias Seyfert, as galáxias tipo Seyfert 1 estão em média mais distantes, $\langle D_{Sy1} \rangle = 67.14 \pm 47.20 \text{ Mpc}$, que as de tipo Seyfert 2, $\langle D_{Sy2} \rangle = 57.62 \pm 43.78 \text{ Mpc}$, tornando um tanto difícil ajustar distâncias similares para os pares. No nosso caso, a origem desse viés é devido às galáxias Seyfert 1 serem mais raras que as Seyfert 2, sendo necessário aumentar o volume de busca, e portanto a distância, para conseguirmos um número considerável de galáxias. A alta dispersão da distribuição, similar para ambos os tipos de atividade, mostra o amplo intervalo de distâncias da amostra. A razão entre as distâncias das galáxias de cada par Seyfert 1 por Seyfert 2 também está

*The NASA/IPAC Extragalactic Database (<http://nedwww.ipac.caltech.edu>)

mostrada na figura 2.1, cujo valor médio é 1.24 ± 0.49 . Para três pares, a razão é maior que dois: MRK 6–ESO 137-G34, NGC 5940–NGC 5135 e NGC 5273–IC 4870.

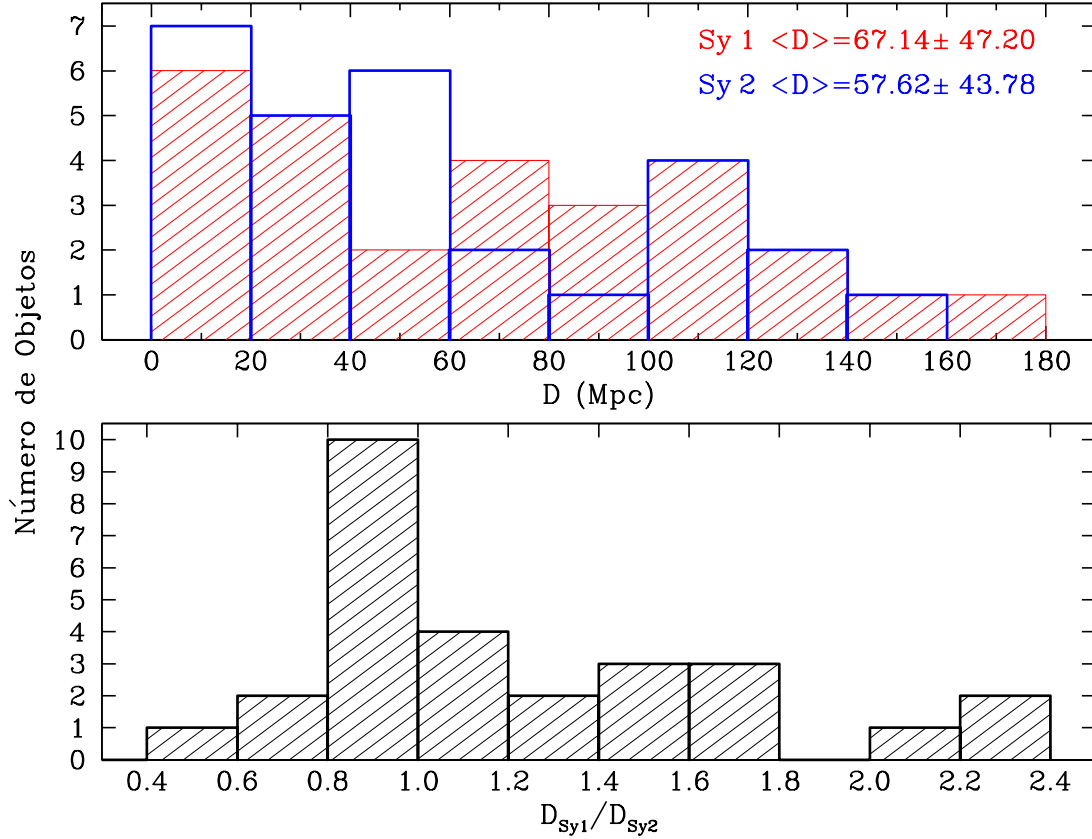


Figura 2.1: Acima: Distribuição de distâncias das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachuriado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto) em megaparsecs. Abaixo: Distribuição da razão: distância da Seyfert 1 pela distância da Seyfert 2 para cada par.

A razão axial – semi-eixo menor sobre semi-eixo maior – fornece-nos uma estimativa da inclinação das galáxias através da relação $r = \cos i = b/a$ (na hipótese de um disco galáctico circular e fino). Esse parâmetro mostra-se semelhante para os dois tipos de atividade: $\langle r_{Sy1} \rangle = 0.72 \pm 0.21$ e $\langle r_{Sy2} \rangle = 0.71 \pm 0.16$. A distribuição é apresentada na figura 2.2. A média da razão do valor Seyfert 1 por Seyfert 2 é $\langle \frac{r_{Sy1}}{r_{Sy2}} \rangle = 1.05 \pm 0.34$.

Sy1-1.5						Sy2					
Galáxia	Tipo Hubble	T	V	b/a	M	Galáxia	Tipo Hubble	T	V	b/a	M
MRK 6	SAB0+	-0.5	5640	0.62	-19.4	ESO 137-G34	SAB(s)0/a?	0.0	2747	0.79	-20.6
MRK 40	S0-pec	-2.0	6333	0.43	-17.8	ESO 103-G35 ^a	SA0	-3.0	3983	0.36	-18.9
MRK 42 ^a	SBb	3.0	7385	0.98	-19.7	NGC 5695 ^a	SBb	3.0	4225	0.71	-20.2
MRK 231	SA(rs)c?-pec	5.0	12642	0.77	-21.7	NGC 7674	SA(r)bc pec	4.0	8671	0.91	-21.4
MRK 493	SB(r)b	3.0	9392	0.71	-20.9	NGC 7319	SB(s)bc pec	4.0	6747	0.76	-20.7
MRK 516 ^a	Sc	5.0	8519	0.83	-20.0	CGCG 164-019 ^a	Sa	1.0	8963	0.87	-20.1
MRK 766	(R')SB(s)a:	1.0	3786	0.80	-19.8	NGC 3393	(R')SB(s)ab	1.0	3750	0.91	-20.4
MRK 915 ^a	Sb	3.0	7228	0.30	-20.1	NGC 7212 ^a	Sab	2.0	7984	-	-20.3
NGC 3227	SAB(s)-pec	1.0	1157	0.67	-19.8	NGC 4725	SAB(r)ab pec	2.0	1206	0.71	-20.9
NGC 3516	(R)SB(s)0	-2.0	2649	0.76	-20.2	NGC 7743	(R)SB(s)0+	-1.0	1710	0.87	-19.4
NGC 4593	(R)SB(rs)b	3.0	2698	0.74	-21.1	NGC 7496	(R')SB(rs)bc	3.0	1649	0.91	-19.8
NGC 5548	(R')SA(s)0/a	0.0	5149	0.93	-20.9	UGC 1214	(R)SAB(rs)0+	-1.0	5174	1.00	-20.5
NGC 5940	SBab	2.0	10172	1.00	-21.3	NGC 5135	SB(l)ab	2.0	4112	0.69	-20.8
NGC 6814	SAB(rs)bc	4.0	1563	0.93	-19.5	NGC 6951	SAB(rs)bc	4.0	1424	0.56	-19.7
NGC 7469	(R')SAB(rs)a	1.0	4892	0.73	-21.1	UGC 2456	(R)SB(s)0+	-1.0	3605	0.59	-19.8

Sy1.8-1.9						Sy2					
Galáxia	Tipo Hubble	T	V	b/a	M	Galáxia	Tipo Hubble	T	V	b/a	M
MRK 334	pec	99.0	6582	0.70	-20.3	NGC 5256	pec	99.0	8353	-	-21.2
MRK 471	SBa	1.0	10263	0.67	-21.1	MRK 477	compact		11310	0.71	-20.7
MRK 744	(R')SAB(r)a-pec	1.0	2678	0.59	-19.3	NGC 5728	(R_1)SAB(r)a	1.0	2788	0.58	-20.0
NGC 2639	(R)SA(r)a:	1.0	3336	0.61	-20.7	NGC 449	(R')S?		4780	0.62	-19.0
NGC 3031	SA(s)ab	2.0	-34	-	-15.4	CIRCINUS	SA(s)b	3.0	449	0.43	-16.8
NGC 4258	SAB(s)bc	4.0	448	0.39	-19.8	NGC 3486	SAB(r)c	5.0	681	0.73	-18.7
NGC 4395	SA(s)m	9.0	319	0.83	-17.5	NGC 5194	SA(s)bc pec	4.0	463	0.62	-20.0
NGC 4565	SA(s)? sp	3.0	1230	0.12	-20.6	NGC 6300	SB(rs)b	3.0	1109	0.67	-19.9
NGC 5033	SA(s)c	5.0	875	0.47	-19.6	NGC 5005	SAB(rs)bc	4.0	946	0.48	-19.9
NGC 5273	SA(s)0	-2.0	1064.0	0.76	-19.1	IC 4870	pec	10.0	889	0.56	-16.5
NGC 5674	SABc	5.0	7474	0.91	-21.3	NGC 3362	SABc	5.0	8290	0.90	-21.7
UGC 1395	SA(rs)b	3.0	5208	0.77	-20.0	NGC 4939	SA(s)bc	4.0	3110	0.51	-21.2
UGC 12138	SBa	1.0	7487	0.87	-20.7	UGC 6100	Sa?	1.0	8844	0.62	-21.0

^a Valores de T ausentes no catálogo RC3.

Tabela 2.1: Lado esquerdo: propriedades das galáxias Seyfert 1–1.9. Lado direito: propriedades do par correspondente Seyfert 2. Cols. (1) e (7): identificação; Cols. (2) e (8): tipo morfológico de Hubble; Cols. (3) e (9): parâmetro T; Cols. (4) e (10): velocidade radial em km s^{-1} ; Cols. (5) e (11): razão axial (b/a); Cols. (6) e (12): magnitude na banda B. Valores foram obtidos do NED.

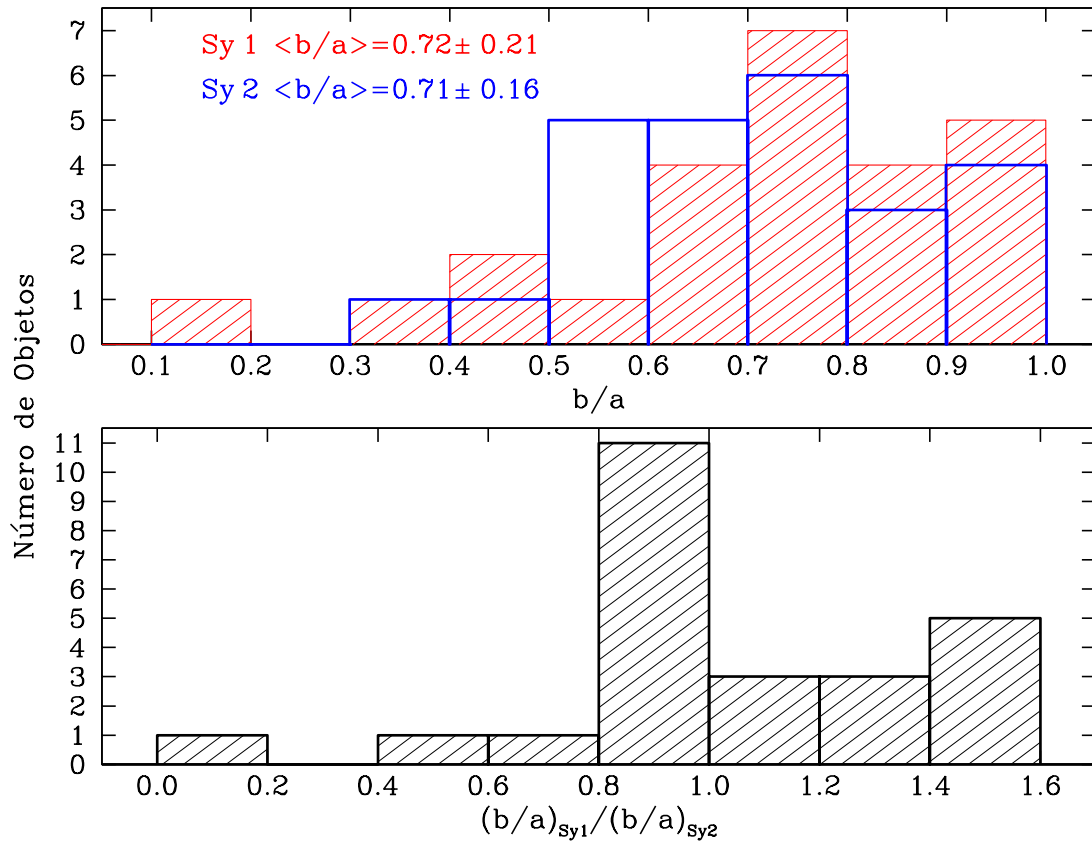


Figura 2.2: Acima: Distribuição de razões axial das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachuriado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da razão: razão axial da Seyfert 1 pela razão axial da Seyfert 2 para cada par.

Finalmente, a figura 2.3 exibe a distribuição em tipo morfológico da amostra. Para tanto, utilizamos o parâmetro T do catálogo RC3. Esse parâmetro faz uso de números para identificar os tipos de Hubble, por exemplo: para as galáxias S0, $T=-1$; para as S0a, $T=0$; para as Sa, $T=1$; para as Sab, $T=2$; etc. Nove galáxias da nossa amostra (ESO 103-G35, MRK 42, NGC 5695, MRK 516, CGCG 164-019, MRK 915 e NGC 7212, MRK 477 e NGC 449) não possuíam valores de T no catálogo. Então, utilizando a classificação de Hubble obtida do NED, fomos capazes de fazer a conversão numérica de acordo os critérios adotados no RC3 para sete delas: ESO 103-G35 (SA0, $T=-3$), MRK 42 e NGC 5695 (SBb, $T=3$), MRK 516 (Sc, $T=5$), CGCG 164-019 (Sa, $T=1$), MRK 915 (Sb, $T=3$) e NGC 7212 (Sab, $T=2$). Excluímos do histograma os dois pares que permaneceram sem informação de T para uma das galáxias (MRK 471–MRK 477 e NGC2639–NGC449) e mais um par (MRK 334–NGC 5256) por ambas as galáxias serem classificadas como peculiares ($T=99$).

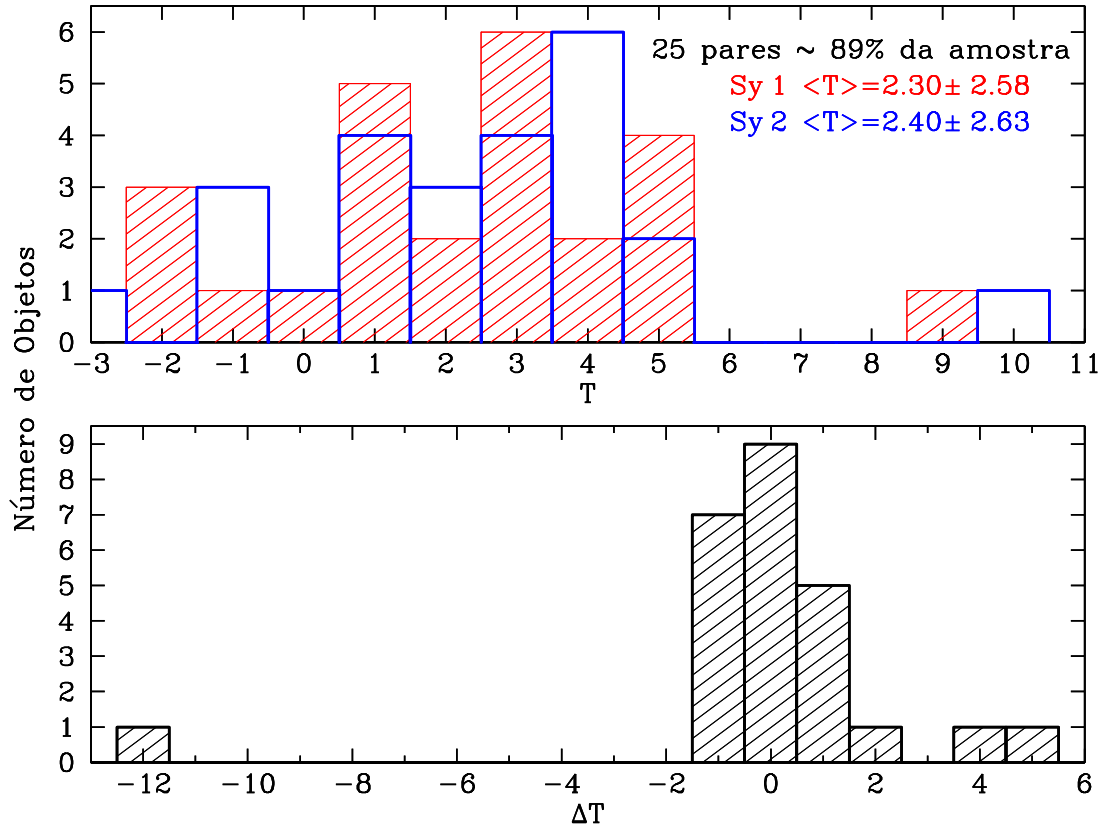


Figura 2.3: Acima: Distribuição do parâmetro T das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachurado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da diferença entre os valores de T das galáxias Seyfert 1 e das galáxias Seyfert 2 de cada.

Na média, as galáxias Seyfert 2 tem parâmetro $\langle T_{Sy2} \rangle = 2,40 \pm 2,63$ enquanto que as Seyfert 1 têm $\langle T_{Sy1} \rangle = 2,30 \pm 2,58$. Fazendo a diferença do parâmetro T entre Seyfert 1 e Seyfert 2 de cada par, o valor médio obtido é $-0,10 \pm 2,89$. Esse valor inclui o par NGC 5273–IC 4870 que no NED leva as classificações SA(s)0 e pec respectivamente, correspondendo a $T=-2$ e $T=10$ no RC3. Como esse é o único par com parâmetro T muito distinto calculamos também o valor médio sem esse par. Excluindo-lo, os valores médios ficam: $\langle T_{Sy1} \rangle = 2.48 \pm 2.47$, $\langle T_{Sy2} \rangle = 2.08 \pm 2.14$ e $\langle \Delta T \rangle = 0.39 \pm 1.51$, o que indica um tipo morfológico médio um pouco mais tardio para as galáxias Seyfert 1 em relação às Seyfert 2. Entretanto, a diferença é pequena frente a dispersão da média de cada tipo.

Um fato interessante é que nossa amostra é composta por uma alta percentagem de galáxias barradas: 15 das 28 galáxias classificadas como Seyfert 1-1.9 são barradas, ou seja, 53% desta subamostra possui barras, enquanto que 16 das 28 galáxias classificadas como Seyfert 2 o são, totalizando 57% desta subamostra. A presença das barras está altamente

relacionada com a presença de núcleos peculiares (Sérsic & Pastoriza 1965, 1967, Pastoriza 1967) que estão associados a formação estelar.

2.2 Configuração instrumental das observações

As observações foram feitas usando a câmera ACS operando em sua máxima resolução (HRC). Nessa configuração o lado do píxel corresponde a $0''.027$, o que significa que para a galáxia mais próxima da amostra, NGC 3031, cada píxel cobre ~ 0.5 pc e para a galáxia mais distante, MRK 231, cada píxel cobre ~ 22 pc na galáxia. O campo de visão (FOV, de *field of view*) da HRC é de $29'' \times 25''$, equivalente a uma região de ~ 530 pc \times 468 pc para NGC 3031 e ~ 24 kpc \times 20 kpc para MRK 231. Devido à heterogeneidade da amostra em relação às suas distâncias, o campo de visão coberto corresponde a regiões que amostram somente o kiloparsec central para as galáxias mais próximas mas, para os objetos mais distantes, incluem o disco espiral da galáxia hospedeira.

O filtro escolhido para a observação foi o F330W, que possui uma cobertura de 588Å centrada em 3354Å. A configuração ACS/HRC+F330W possui uma excelente resposta e mínima contaminação por linhas de emissão, uma vez que nesse intervalo apenas [Ne V] λ 3426Å contribui de maneira significativa. Para as Seyferts 2 de González Delgado et al. (2001) a média da largura equivalente dessa linha é 18Å, o que representa uma contaminação de somente $\approx 5\%$ para o fluxo dessa banda.

As observações foram realizadas entre julho de 2002 e julho de 2003. Cada galáxia foi observada durante 20 minutos. Para auxiliar a remoção dos raios cósmicos esse intervalo foi dividido em duas exposições de 10 minutos. Para quinze objetos muito brilhantes, as exposições foram divididas em três: duas cuja soma equivale a 1140 segundos e uma de 60 segundos. A exposição curta foi feita para estudar o núcleo caso a imagem saturasse. As únicas exceções são NGC 7212 e NGC 5728 cujo tempo de exposição é 2550 segundos, pois essas galáxias são parte de outra proposta de observação (PROPOSID 9681, PI Steven Kraemer).

Capítulo 3

Metodologia

Todos os detectores da câmara ACS exibem distorções geométricas significativas especialmente quando comparados com os outros instrumentos do HST. Todas as imagens feitas com a ACS precisam ser corrigidas por essa distorção antes de se fazer análises científicas. A principal causa desse efeito é o seu *design* que foi projetado com um número mínimo de componentes para que o instrumento tivesse uma alta performance. Em contrapartida a superfície focal é distorcida. Além disso, o detector HRC tem 25° de inclinação em relação ao plano do céu resultando numa alongação de 12% na imagem. Por causa disso, quando projetado no céu a aparência do campo coberto pelo detector tem forma de um losango ao invés de um quadrado, com um ângulo de $84,2^\circ$ entre os eixos x e y. A distorção do píxel varia ao longo do detector, chegando a diferir em $\sim 1\%$ de um vértice a outro. A figura 3.1 ilustra a distorção.

O pacote de redução de dados (*pipeline*) do HST fornece várias possibilidades quanto a arquivos processados após a observação. O usuário pode solicitar desde imagens “cruas” até imagens corrigidas por *bias*, *dark*, *flat-field*, com os raios cósmicos eliminados e corrigidas pela distorção. O sufixo que identifica essas imagens no arquivo do telescópio é o **_DRZ** cujas contagens já estão convertidas para elétrons por segundo (no processo de redução também são divididas pelo tempo de exposição). Para as galáxias Seyfert 2 essa opção foi utilizada. Para as galáxias Seyfert 1, onde foi necessário a remoção da fonte nuclear não resolvida (ver seção 3.1.2), utilizamos imagens corrigidas somente por *bias*, *dark*, *flat-field*, cujo sufixo de identificação é o **_FLT** e a unidade de contagens são elétrons.

No seção 3.1 faremos uma descrição do tratamento das imagens das galáxias Seyfert 1 antes da análise fotométrica que compreendeu: a correção das imagens saturadas, explicada na seção 3.1.1 e a remoção da componente não resolvida, descrita na seção 3.1.2. Na seção 3.2 detalhamos todos os procedimentos adotados para realizar a fotometria. Todas as análises descritas a seguir foram feitas utilizando o *software Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF). Maiores detalhes sobre as escolhas dos parâmetros utilizados em cada tarefa

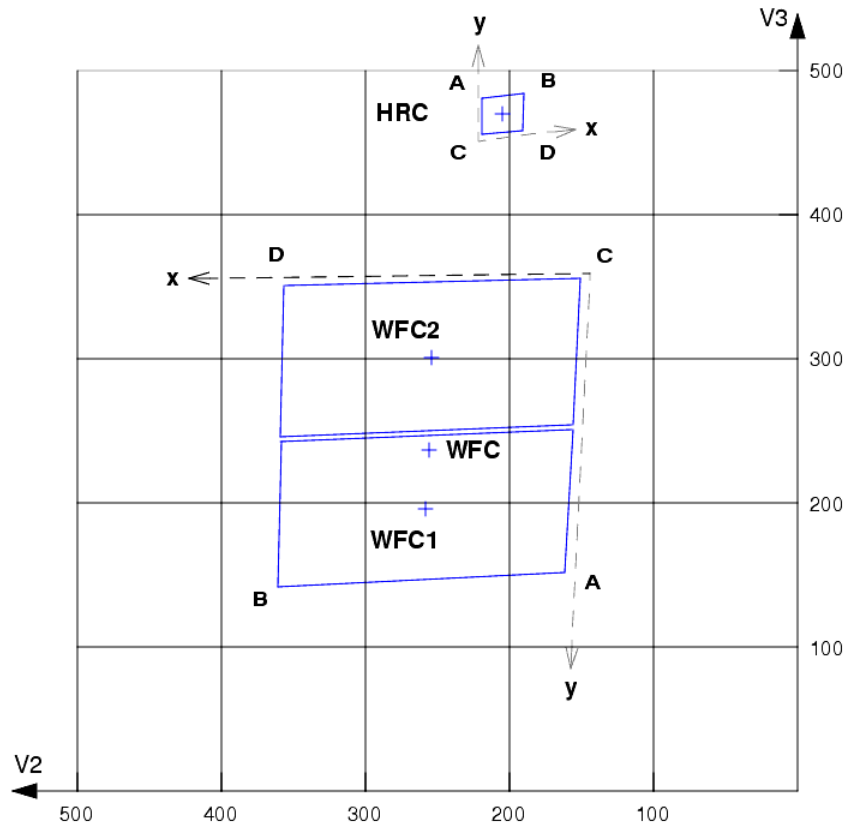


Figura 3.1: Acima está desenhado o campo no céu coberto pelo detector HRC e ao centro o campo no céu do WFC; ambos são detectores da ACS. Os eixos V2 e V3 ilustram os eixos de coordenadas do telescópio, onde V3 está alinhado com o norte e V2 com o leste. O *design* das câmaras faz com que a o campo coberto pela imagem tenha uma forma de losango quando projetado no céu.

podem ser encontrados no Apêndice A. Todos os procedimentos adotados foram realizados de acordo com Sirianni et al. (2005), com o manual de dados*, o manual instrumental da ACS† e com os procedimentos detalhados nos documentos ACS 2003-06‡ e ACS 2004-01§.

*Pavlovsky, C., et al. 2005, “ACS Data Handbook”, Version 4.0, (Baltimore: STScI).

†Pavlovsky, C., et al. 2006, “Advanced Camera for Surveys Instrument Handbook for Cycle 16”, Version 7.1, (Baltimore: STScI).

‡Krist, J. 2003, Instrument Scientific Report ACS03-06 (Baltimore, MD: STScI).

§Gilliland, R. L. 2004, Instrument Scientific Report ACS04-01, (Baltimore, MD: STScI).

3.1 Tratamento dos dados

3.1.1 Correção das imagens saturadas

O valor padrão do ganho para a HRC é $ganho \sim 2 \text{ e}^- \text{ ADU}^{-1}$. Como essa câmara emprega um conversor analógico-digital 16-bit, o maior número de elétrons que se pode coletar em cada píxel é $ganho \times 2^{16} - 1 \sim 131072 \text{ e}^-$, correspondente ao valor de saturação. A saturação do CCD também foi medida fisicamente com o uso de estrelas e nessa medida descobriu-se que a quantidade de carga máxima coletada sofre variações de 10 – 18% ao longo do campo. Uma vez que a saturação física é alcançada, os pixeis perdem a sua capacidade de coletar elétrons a mais. A carga adicional se espalha pelos pixeis adjacentes, preferencialmente ao longo da mesma coluna. Contudo, a fotometria de exposições longas de imagens saturadas mostrou que a resposta do CCD permanece linear mesmo após a saturação. É possível então, manter a precisão da fotometria desde que as aberturas englobem os pixeis adjacentes aos saturados.

Como um dos objetivos do presente trabalho era a remoção da contribuição não resolvida dos núcleos Seyfert 1, a correção por saturação fez-se necessária para que fosse possível localizar com precisão o máximo da emissão. Utilizamos neste processo – bem como no processo de remoção da PSF – as imagens **_FLT** que não são corrigidas pela distorção da ACS, pois a saturação e o perfil da PSF são características dos instrumentos envolvidos e portanto as correções correspondentes devem ser feitas antes da correção da imagem pela distorção da ACS. Inspeções utilizando as rotinas *implot* e *imexam* do IRAF ajudaram a encontrar núcleos saturados. Isso aconteceu em sete galáxias (todas classificadas como Seyfert 1–1.9): MRK 231, NGC 3516, NGC 4543, NGC 5548, NGC 7469, MRK 493, NGC 6814. As cinco primeiras possuíam três imagens **_FLT** com as seguintes exposições: duas de 570 segundos saturadas (a partir de agora chamadas de longas) e uma de 60 segundos não saturada (a partir de agora chamada de curta), que permitiu a correção por saturação. As duas últimas galáxias não foram corrigidas pois só possuíam duas exposições de 600 segundos que saturaram. A figura 3.2 mostra o perfil de intensidade saturado quando fazemos um corte ao longo de uma coluna que passa pelo núcleo e a figura 3.3 quando o corte é feito ao longo de uma linha. É possível notar que o perfil é mais “alargado” quando o corte é feito ao longo de uma coluna que de uma linha, pois como explicado anteriormente, o fluxo escorre preferencialmente para os pixeis ao longo da mesma coluna. Esses perfis foram obtidos com a tarefa *implot* do IRAF.

O processo de correção consistiu em substituir os pixeis saturados de ambas imagens longas pelos pixeis não saturados equivalentes, provenientes da imagem curta. Antes de fazer a substituição, o céu das três imagens foi quantificado e subtraído da seguinte forma: para cada imagem, usando a tarefa *imexam*, computamos o valor médio do céu para seis regiões de tamanho $20 \times 20 \text{ píxel}^2$ livres da emissão do objeto e raios cósmicos. Um valor médio

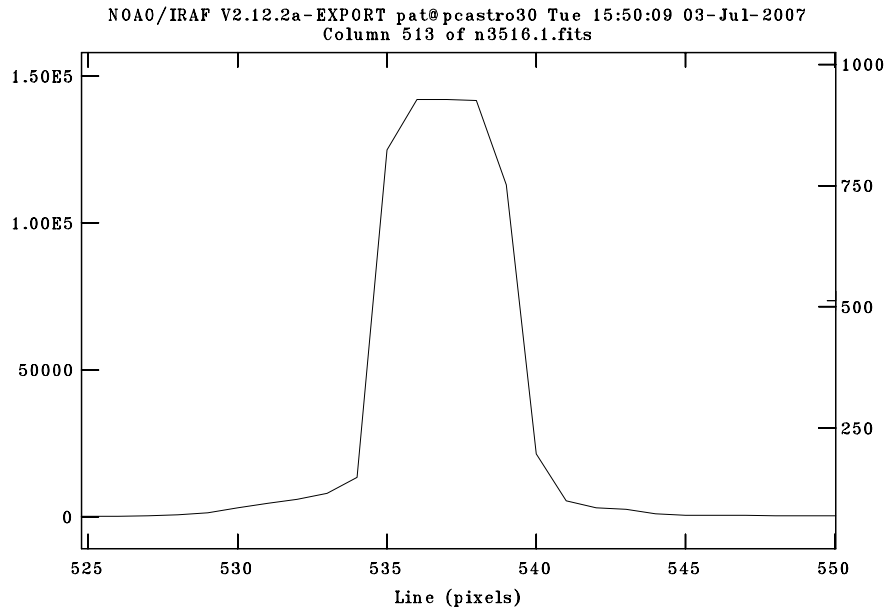


Figura 3.2: Perfil em contagens da galáxia NGC 3516 ao longo da coluna 513 que passa pelo núcleo saturado. No eixo vertical temos as contagens – que atingem um máximo de $\sim 130000e^-$ – e no eixo horizontal as linhas em pixels.

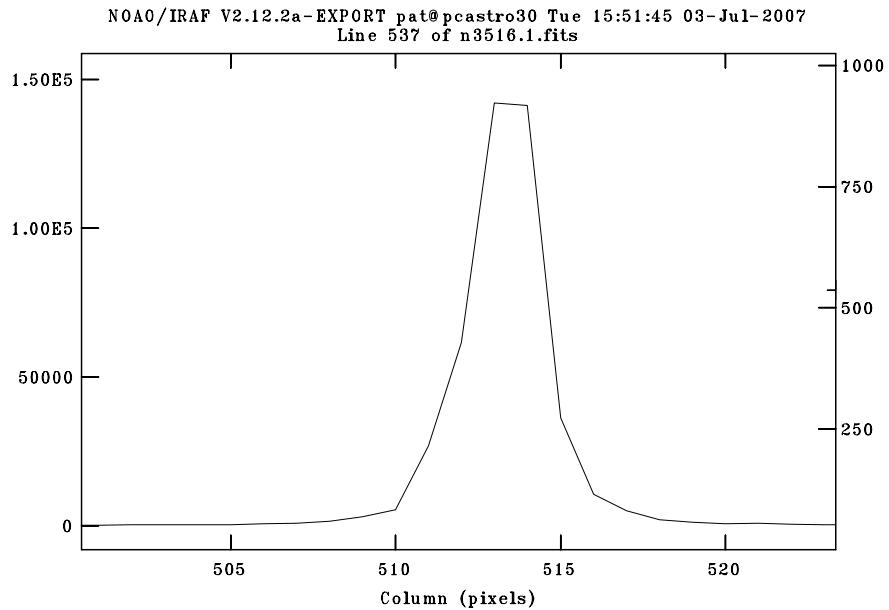


Figura 3.3: Perfil em contagens da galáxia NGC 3516 ao longo da linha 537 que passa pelo núcleo saturado. No eixo vertical temos as contagens e no eixo horizontal as colunas em pixels.

do céu foi calculado usando os valores das seis regiões. Por fim, esse valor foi subtraído da imagem correspondente usando a rotina *imarith*. Como o número de contagens no detector é diretamente proporcional ao tempo de exposição, a imagem curta tinha menos contagens que as duas imagens longas. Então, antes de fazermos a substituição dos pixels saturados ainda foi necessário escalonar as contagens da imagem curta de modo o número total correspondesse ao de uma imagem com exposição de 570 segundos nas regiões dos pixels saturados. Para isto, multiplicamos a imagem curta por uma série de fatores até atingir as contagens desejáveis comparáveis com das imagens longas na região de superposição não saturada entre as imagens curta e longa. O fator multiplicativo que melhor se adequou para todas as galáxias foi 9.5 que é exatamente o valor da razão entre os tempos de exposição das imagens longas e curta (570/60). Neste ponto, cada galáxia possuía as seguintes imagens: duas longas que estavam saturadas, e uma com tempo de exposição de 60 segundos não saturada com o fluxo equivalente a uma exposição de 570 segundos (chamada a partir de agora de curta escalonada). A figura 3.4 ilustra a superposição da imagem curta escalonada em uma das imagens longas. Ambos perfis foram feitos ao longo da mesma linha.

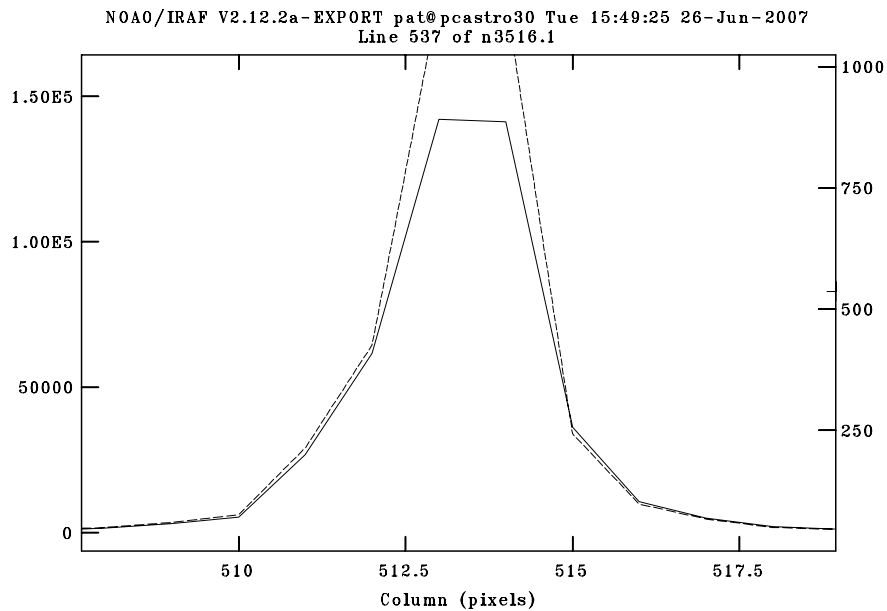


Figura 3.4: As asas do perfil de uma das imagens longas (linha contínua) e da curta (traçada) coincidem quando a última é multiplicada por 9.5.

Quando a tarefa *imezam* está em execução e o cursor está posicionado sobre uma determinada região da imagem, a tecla *z* fornece os valores dos pixels em uma grade de 10×10 píxel². Utilizando esse recurso, procuramos pela região onde os pixels estavam saturados e deveriam ser substituídos. Os pixels saturados mais os adjacentes à saturação

foram substituídos. A tabela 3.1 mostra quais foram essas regiões nas imagens **_FLT** para cada galáxia.

Galáxia	Colunas (píxel)	Linhas (píxel)
MRK 231	585–591	489–491
NGC 3516	512–515	534–540
NGC 4593	535–539	544–554
NGC 5548	524–527	514–520
NGC 7469	469–472	461–470

Tabela 3.1: Regiões saturadas substituídas

Nas duas imagens longas de cada galáxia, substituímos as regiões saturadas por pixels com valores nulos utilizando o *imreplace* (chamadas agora de longas com pixels nulos). Ainda utilizando essa rotina, criamos uma imagem “sintética” onde desta vez, a região dos pixels saturados tinha todos valores unitários e o pixels restantes da imagem valores nulos. A imagem sintética multiplicada pela curta escalonada resultava em uma imagem onde a região de interesse a ser substituída tinha os valores da curta escalonada e os demais pixels nulos. Utilizando a rotina *imcombine*, somamos essa nova imagem sintética com cada uma das imagens longas com pixels nulos, resultando no produto final desejado: duas imagens **_FLT** com tempos de exposição de 570 segundos cada, com um núcleo corrigido por saturação.

3.1.2 Remoção da fonte puntual

Trabalhos prévios utilizando imagens (desde, por exemplo Malkan & Filippenko 1983), mostram que quase todas as galáxias Seyfert 1 emitem um contínuo *featureless* que apresenta variação temporal a partir de uma região com raio menor que 1 parsec. Então, mesmo com a melhor resolução espacial disponível hoje, a fonte nuclear permanece não resolvida e deve aparecer nas imagens como uma fonte puntual brilhante – com se fosse uma estrela – sobreposta à imagem da galáxia hospedeira. A intensidade da emissão nuclear não resolvida espalha-se ao longo da direção radial das imagens, gerando uma resposta conhecida com *Point Spread Function*, ou simplesmente PSF, que pode ser traduzido como função de espalhamento da intensidade devido a uma fonte puntual. Além do espalhamento da intensidade pelo espelho e o meio percorrido, existem outros efeitos devido aos demais elementos óticos do telescópio. A luz proveniente da fonte atravessa uma série de aberturas circulares, como por exemplo diafragmas, lentes, etc. Mesmo corrigindo da melhor forma possível, a imagem de um ponto não é puntiforme, devido à limitação fundamental imposta pela difração nas aberturas circulares atravessadas. A função que descreve o espalhamento

da PSF nesse caso é uma função de Airy:

$$A_{psf} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{J_1(B_r)}{B_r} \right]^2,$$

onde

$$B_r = \frac{\pi D}{f\lambda}$$

sendo J_1 a função de Bessel de primeira espécie, D o diâmetro da abertura, f o comprimento focal e λ o comprimento de onda. A figura 3.5 mostra uma ilustração de PSF descrita pela função de Airy.

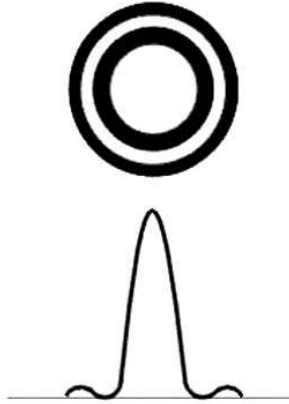


Figura 3.5: Acima temos uma ilustração do espalhamento da intensidade de uma fonte pontual exibindo o padrão de difração. Abaixo, está ilustrado o perfil da distribuição de intensidade.

O espalhamento da intensidade da fonte depende da resolução angular do telescópio e corresponderá a tamanhos físicos diferentes para cada galáxias conforme sua distância. Portanto, a PSF pode ofuscar desde as regiões circumnucleares até toda a galáxia hospedeira, como é comumente observado nos quasares. Para que possamos fazer o estudo comparativo das regiões circumnucleares de galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 é indispensável a subtração da fonte central não resolvida se a mesma estiver presente.

Para fazer a subtração utilizamos a anã branca GD71 observada em agosto de 2002 como modelo de PSF. Essa observação pertenceu a proposta PROPOSID 9667 de John Krist, cujo objetivo era a caracterização da PSF para as câmeras da ACS. A estrela foi observada em diversos filtros incluindo o F330W. Para esse filtro, resgatamos do banco de dados do HST o arquivo corrigido por distorção (**J8J802051_DRZ.FITS**) e os dois não corrigidos usados para corrigí-lo (**J8J802DOQ_FLT.FITS** e **J8J802DPQ_FLT.FITS**). Como já explicado na seção 3.1.1, as imagens **_FLT** foram utilizadas no processo de subtração. Combinamo-as com a rotina *imcombine* e critério de rejeição *minmax* para eliminar

os raios cósmicos. Ao fazer a subtração do céu, escolhemos quatro regiões livres de emissão de tamanho 50×50 píxel², e usando a tarefa *imexam* obtivemos o valor médio da intensidade nessas regiões. Fazendo uma média desses quatro valores o céu de cada imagem foi computado e subtraído usando o *imarith*. Esse produto final foi o que chamamos de PSF de referência, utilizada na subtração das imagens **_FLT** das galáxias. O processo de subtração compreendeu os seguintes passos:

Alinhamento e escalonamento do máximo de emissão - Como o máximo da emissão possuía uma localização diferente no campo para cada galáxia, foi necessário alinhar os pixels da PSF de modo que o píxel onde o máximo estivesse localizado coincidissem com o máximo de emissão da galáxia. Depois de alinhada a PSF, também foi necessário escalonar seu máximo de forma que o valor dele fosse o mesmo da galáxia. Então para cada galáxia foram criadas duas PSFs de referência, uma para cada imagem **_FLT**. Essas duas PSFs de referência foram alinhadas e escalonadas de acordo com cada uma das imagens **_FLT**. Os máximos de emissão das imagens **_FLT** e da PSF de referência foram computados com o *imexam*. Essa rotina fornece-nos a localização e a intensidade da fonte central em pixels e contagens respectivamente, sendo que a posição nos pixels tem uma precisão de dois algarismos depois da vírgula. Conhecidas as devidas localizações executamos a tarefa *imshift* duas vezes, gerando em cada uma delas uma PSF alinhada com cada uma das imagens **_FLT** da galáxia em questão. O erro máximo no alinhamento é 0.05 pixels. Computamos com o *imexam* o valor da intensidade das duas PSFs geradas pelo *imshift* e assim foi possível escalonar suas intensidades com as das imagens **_FLT** das galáxias. Esses produtos finais foram as chamadas PSFs de referência das imagens **FLT**, pois cada uma das imagens tinha uma PSF cuja emissão máxima coincidia em localização e valor com a da imagem da galáxia. A figura 3.6 mostra uma imagem da galáxia MRK 231 juntamente com sua PSF de referência.

Seleção das galáxias que necessitavam subtração - Após obtidas as duas PSFs de referência para cada galáxia, foi possível comparar o perfil ao longo de linhas e colunas das imagens da galáxia e da PSF. O critério utilizado para decidir se seria feita a subtração foi verificar se o núcleo da galáxia apresentava padrão de difração. Algumas galáxias, como a MRK 231 (figura 3.6) visivelmente mostram esses padrões, mas para outras galáxias isso não fica tão claro. Inspecionamos esses padrões de difração com a rotina *implot*. Como o braço superior da cruz de difração era o mais saliente em todas as imagens fizemos cortes ao longo de linhas que cruzavam esse braço, tanto para a PSF como para as imagens **_FLT** da galáxia e superpusemos os perfis. Para aumentar o sinal – que era muito baixo em muitos casos – a melhor opção foi fazer

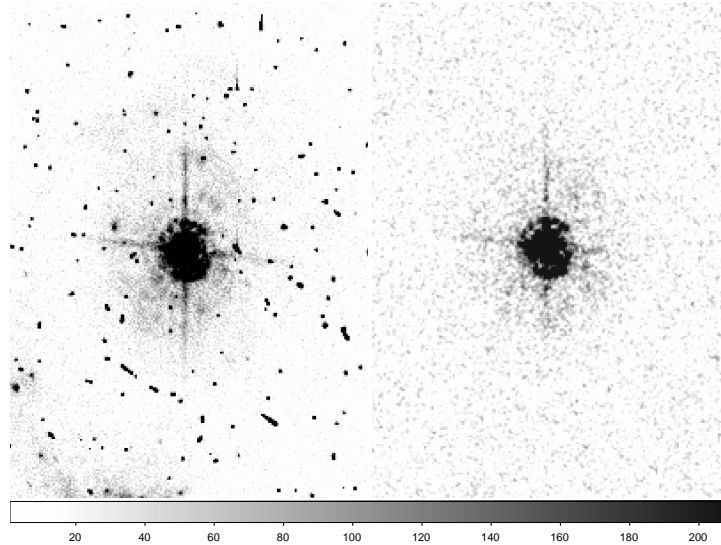


Figura 3.6: À esquerda uma das imagens **_FLT** da galáxia MRK 231 e à direita a PSF de referência para essa imagem.

um perfil médio ao longo de ~ 30 linhas, que era mais ou menos o tamanho da extensão desse braço. As figuras 3.7 e 3.8 mostram exemplos dessa inspeção para uma das imagens **_FLT** e sua PSF de referência: na primeira delas tanto a galáxia MRK 6 quanto sua PSF possuem o padrão pois os picos dos perfis coincidem e na segunda temos o exemplo da NGC 4565 que não exibe o padrão, portanto não foi realizada a subtração.

Para as galáxias MRK 766 e NGC 5033 a análise foi estendida para os outros braços da cruz de difração, pois somente o superior não foi capaz de esclarecer se havia a necessidade da subtração. Finalmente, chegamos a conclusão de que a PSF deveria ser subtraída das imagens das seguintes galáxias: MRK 6, MRK 40, MRK 42, MRK 493, MRK 231, MRK 766, MRK 915, NGC 3227, NGC 3516, NGC 4543, NGC 5033, NGC 5273, NGC 5548, NGC 5940, NGC 6814, NGC 7469 e UGC 12138.

Subtração da PSF de referência de cada galáxia - Como é impossível separar a emissão proveniente da fonte central não resolvida da emissão proveniente das regiões circunucleares, não sabíamos qual percentagem da PSF de referência deveria ser subtraída da galáxia. Fizemos então testes a cada 5%, ou seja, multiplicamos a PSF de referência de cada imagem **_FLT** por 0.05 e subtraímos da respectiva imagem **_FLT**. Fizemos subtrações de 5% em 5% até que os vestígios de difração sumissem. Os quadros da figura 3.9 mostram as imagens das galáxias NGC 3227 e NGC 7469 e as subtrações parciais realizadas de 5% em 5%. Como o alinhamento das PSF não é perfeito podem

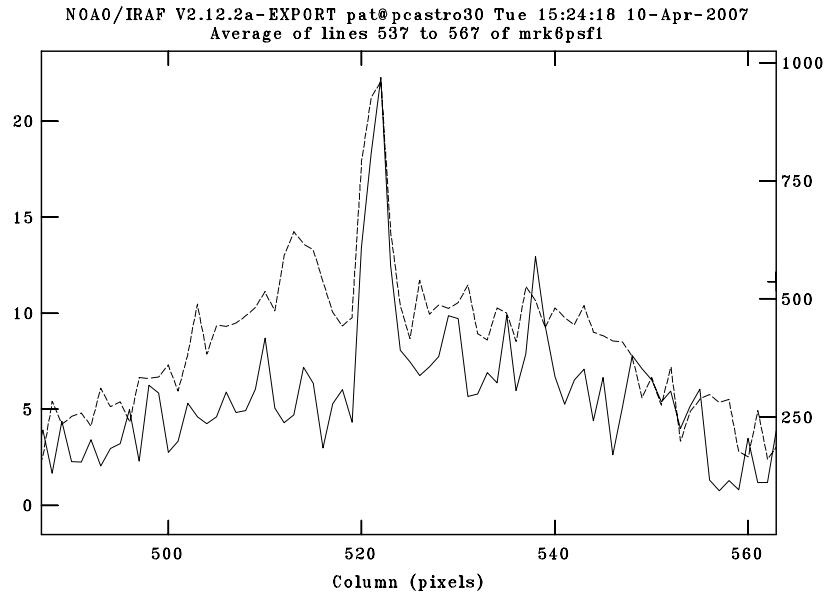


Figura 3.7: O perfil do braço vertical superior da cruz de difração da PSF de referência da galáxia MRK 6 é mostrado pela linha contínua e o da própria MRK 6 é mostrado pela linha tracejada. O perfil mostrado corresponde ao perfil médio ao longo das linhas 537 a 567.

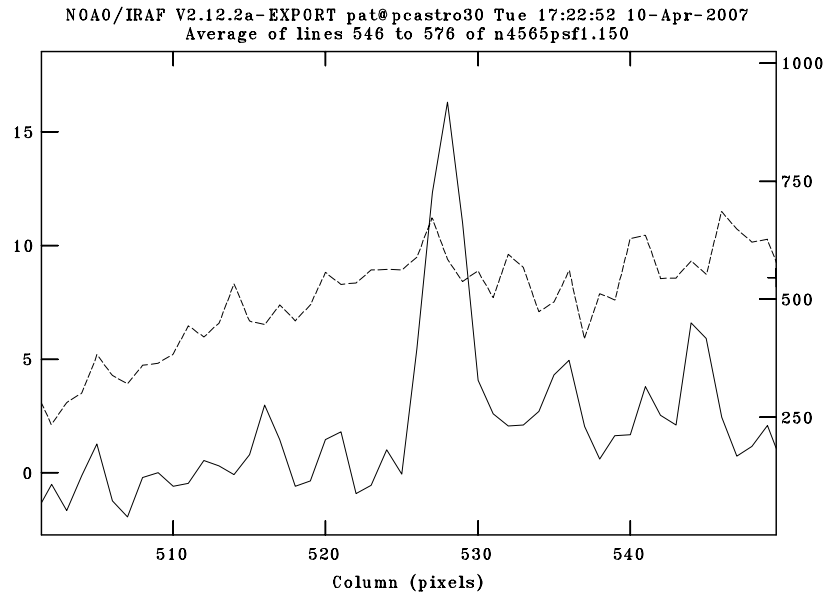


Figura 3.8: O perfil da PSF do braço vertical superior da cruz de difração de referência da galáxia galáxia NGC 4565 é mostrado pela linha contínua e o da própria NGC 4565 é mostrado pela linha tracejada. A galáxia não apresenta o máximo devido ao braço superior da cruz de difração. A figura mostra um perfil médio ao longo das linhas 546 a 576.

aparecer alguns “buracos” – devido a pixels com valores negativos – na região central da imagem subtraída, como no caso da NGC 7469.

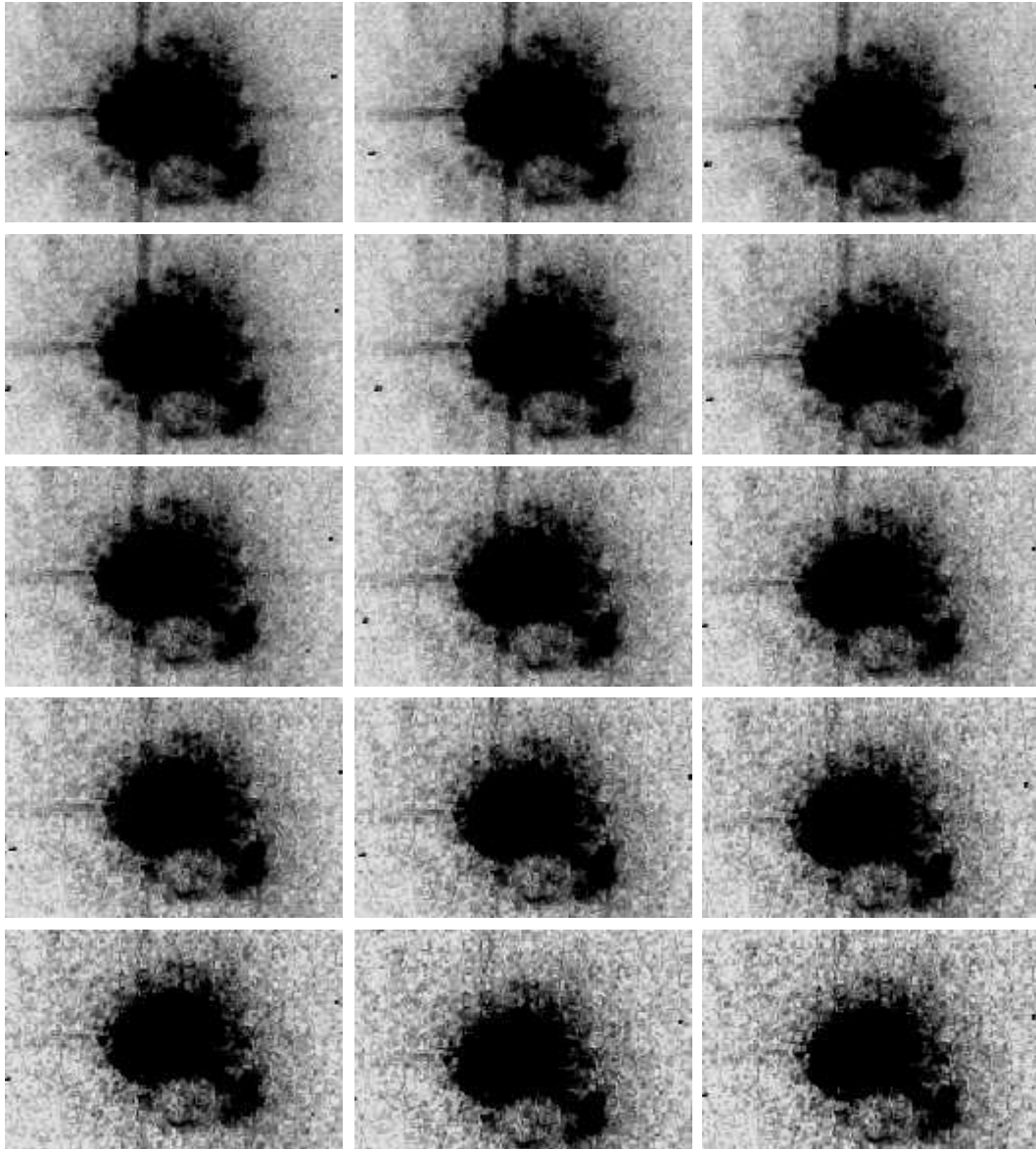


Figura 3.9: Subtração da PSF em fatores de 5% para as galáxias NGC 3227 e NGC 7469. No topo à esquerda temos a imagem da galáxia sem nenhuma subtração. Ao lado temos as subtrações de 5 e 10% respectivamente. Na linha abaixo, temos subtrações de 15, 20, 25% e assim por diante. Neste painel e no seguinte, as imagens das galáxias foram corrigidas pela distorção geométrica da ACS.

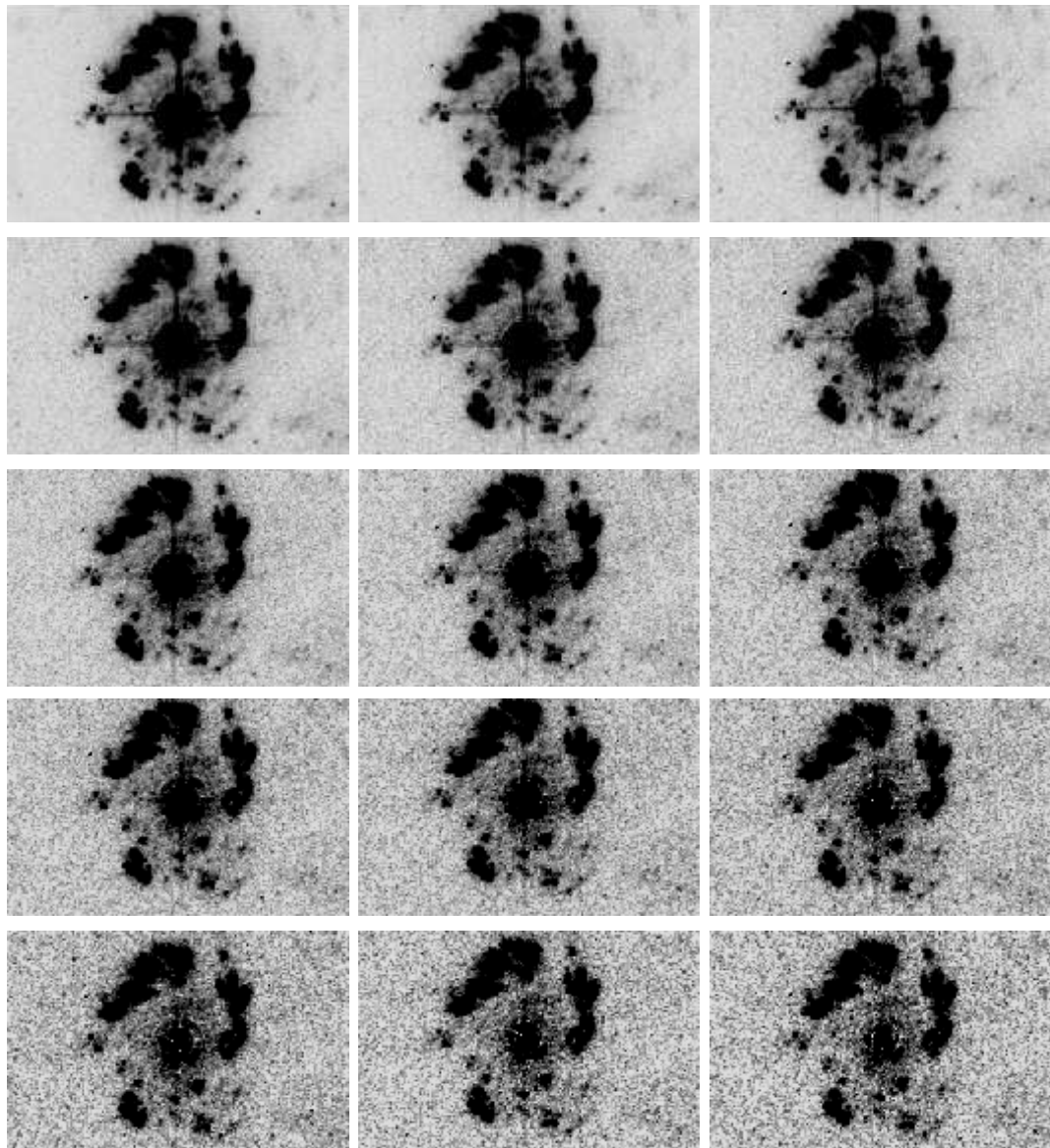


Figura 3.10: Continuação da figura 3.9.

Correção por distorção das imagens subtraídas - Depois de subtraída a PSF das imagens **_FLT** passamos à correção pela distorção do campo da ACS. Para fazer a correção por distorção utilizamos a tarefa *multidrizzle* que só pode ser executada no ambiente PyRAF[¶]. Os parâmetros do *multidrizzle* foram ajustados de acordo com a seção 4.4 do manual de dados da ACS^{||} (mais informações também podem ser obtidas no apêndice A). Basicamente, os cabeçalhos das duas imagens **_FLT** de cada subtração forneciam os parâmetros de entrada utilizados pelo *multidrizzle* para combinar as imagens, eliminar raios cósmicos e corrigir por distorção geométrica. Como também é possível subtrair o céu ao executar essa tarefa optamos por fazê-lo. A saída do programa é uma imagem **_DRZ**.

Escolha da melhor subtração - Como cada galáxia possuía uma série de imagens **_DRZ** correspondentes a subtrações de 5, 10, 15, 20%, etc. era necessário escolher a “melhor” subtração, que faria parte das análises fotométricas. Em geral, quando os vestígios de difração somem das imagens já existem alguns pixels negativos devido às imprecisões no alinhamento. A figura 3.11 mostra as imagens de seis galáxias antes e depois da subtração da PSF, ilustrando a presença de pixels negativos na imagem com a PSF subtraída. Como mostra figura 3.11, os “buracos” tendem a aparecer dentro da região onde está localizado o máximo central – delimitada por uma circunferência em vermelho desenhada sobre a imagem de cada galáxia e também sobre a imagem da qual foi subtraída a PSF. Para escolher a percentagem ideal de subtração utilizamos, além do critério discutido acima de fazer desaparecer as cruces de difração das imagens da galáxia, usamos também a quantidade de pixels negativos dentro das circunferências ilustradas na figura 3.11 pelas razões descritas a seguir. Um padrão de difração que é descrito por uma função de Airy engloba no máximo central 84% da intensidade da fonte puntual, o que segundo Sirianni et al. (2005) está compreendido em um raio de 9 pixels para o filtro F330W quando utilizado junto com a câmara HRC. Este raio corresponde aproximadamente ao da circunferência central desenhada na figura 3.11. Decidimos inspecionar o valor dos pixels em um quadrado cujo valor do lado era de 9 pixels, assegurando assim que a circunferência de raio igual a 9 pixels caberia dentro do quadrado. Notamos que na maioria dos casos os vestígios de difração somem quando $\sim 15 - 20\%$ dos pixels dentro do quadrado ficam negativos. Esse então, foi o critério adotado para escolher a percentagem correspondente à melhor subtração, cujos valores para cada galáxia estão listados na tabela 4.1 do capítulo 4.

[¶]PyRAF é uma interface IRAF escrita na linguagem de programação Python
http://www.stsci.edu/resources/software_hardware/pyraf

^{||}http://www.stsci.edu/hst/acs/documents/handbooks/DataHandbookv4/acs_Ch4.html#91882

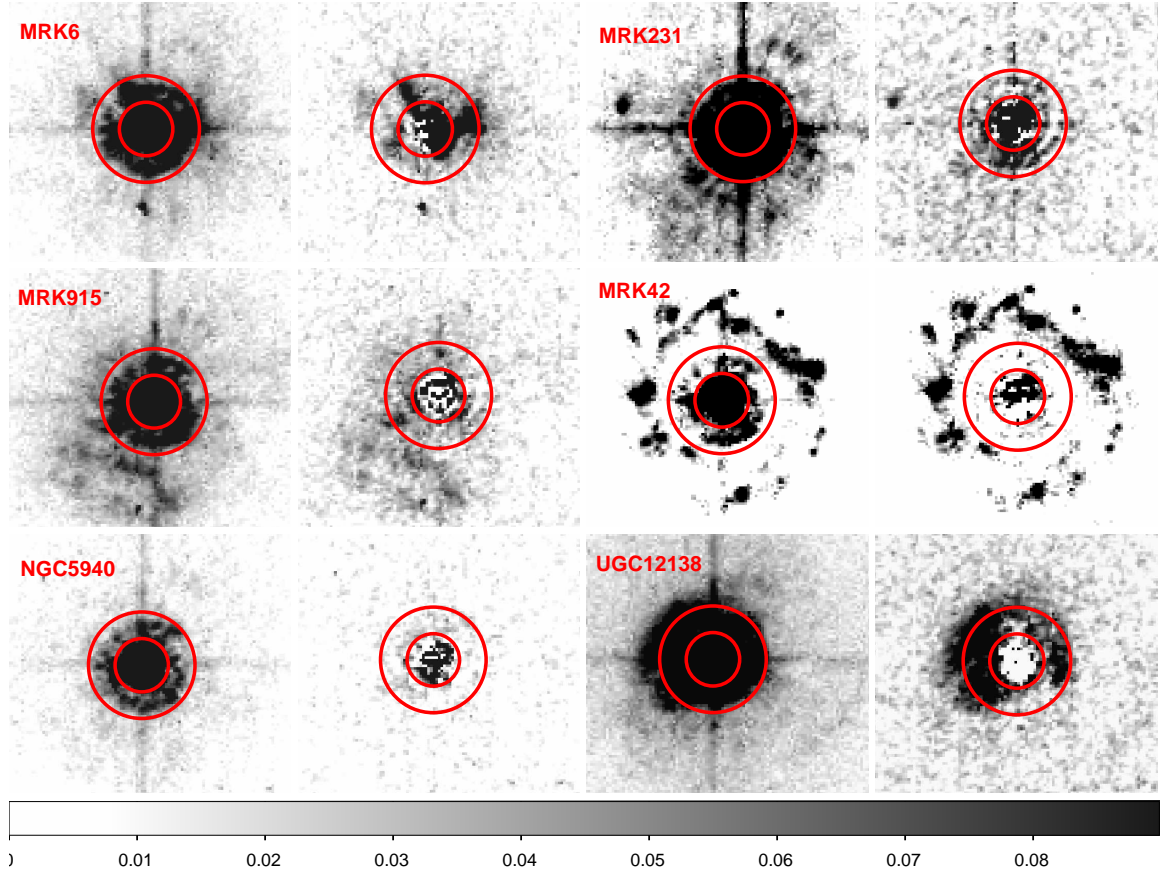


Figura 3.11: Na primeira coluna temos as imagens das galáxias MRK 6, MRK 915 e NGC 5940 e na segunda coluna as imagens correspondentes após a subtração da PSF onde “buracos” começam aparecer. Na terceira e quarta colunas mostramos o mesmo para as galáxias MRK 231, MRK 42 e UGC 12138. As circunferências em vermelho circundam o máximo central e o primeiro máximo secundário, que possuem raios ~ 10 e 20 pixels respectivamente.

3.2 Análise fotométrica

3.2.1 Localização do máximo da emissão

Antes de localizarmos o máximo de emissão ultravioleta das galáxias, tivemos que subtrair a contribuição do céu das imagens das galáxias Seyfert 2. Para as Seyfert 1 o céu já havia sido subtraído no processo de correção da distorção da ACS. O procedimento adotado foi parecido com o utilizado para as imagens da PSF (descrito na seção 3.1.2): computamos o valor para quatro regiões livres de emissão da galáxia, de tamanho 50×50 píxel², fizemos uma média desses quatro valores e subtraímos usando o *imarith*. Após a subtração, utilizamos essa mesma técnica para medir o desvio padrão do céu σ_s para todas as galáxias, cujo valor médio é $\langle \sigma_s \rangle = 0.00068 \text{ e s}^{-1}$. O desvio é pequeno devido à mesma

configuração instrumental usada na obtenção das imagens e ao tempo de exposição similar nas diferentes imagens. O maior desvio foi para a galáxia NGC 3031 ($\sigma_s = 0.0042$), que está entre uma das galáxias mais próximas da amostra. Isto sugere que algumas aberturas utilizadas na medição do céu foram contaminadas pela própria emissão da galáxia.

A localização do máximo da emissão em pixels foi determinada com o *imexam* com uma precisão de dois algarismos depois da vírgula. Para as galáxias Seyfert 1 que passaram pelo processo de subtração da PSF, utilizamos a imagem antes da subtração para determinar a posição do núcleo. Não foi possível determinar a posição do núcleo para quatro galáxias Seyfert 2 (CIRCINUS, ESO 137-G34, NGC 5256 e NGC 5728) utilizando o *imexam* pois seus núcleos estavam obscurecidos. Fizemos o uso de imagens da WFPC2 no ótico (filtro F606W) para estimar a localização da fonte central pois esse comprimento de onda é menos afetado pela extinção. A única exceção foi a NGC 5728 que não possuía observações com esse instrumento. A figura 3.12 mostra imagens nos filtros F330W e F606W da galáxia CIRCINUS, onde a imagem ultravioleta aparece extremamente obscurecida em relação a imagem no ótico; usou-se então a posição do máximo no filtro F606W como sendo a posição do núcleo.

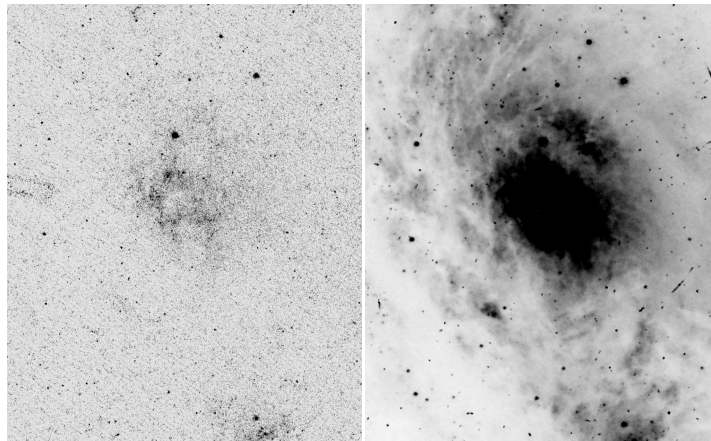


Figura 3.12: À esquerda temos a imagem da galáxia CIRCINUS no ultravioleta (F330W) e à direita no óptico (F606W). As imagens correspondem às mesmas escalas físicas com o norte apontando para cima. A galáxia possui uma fraca emissão no ultravioleta tornando difícil a localização do núcleo da galáxia.

Computamos a o centro das imagens óticas com o *imexam*. Utilizando a rotina *xy2rd* nas imagens da WFPC2 convertemos os valores dos pixels para ascensão reta e declinação. Em seguida, utilizamos a rotina *rd2xy* nas imagens da ACS, que fazia o processo inverso: a partir da ascensão reta e da declinação a rotina obtinha os pixels equivalentes nas imagens ACS. Esse processo resultou em uma precisão de alguns pixels, que foi o suficiente para o resto da análise. Além disso, na imagem da galáxia NGC 5256 aparecem “dois núcleos”. O mais brilhante foi adotado como o núcleo Seyfert.

Para a galáxia NGC 5728 o problema não foi exatamente o mesmo, pois a galáxia possui uma intensa emissão ultravioleta. No seu caso visualizamos o núcleo mas não conseguimos determiná-lo com precisão, pois haviam dois máximos de igual intensidade separados por ~ 14 pixels. Como essa galáxia não possuía observações com o filtro F606W, o que fizemos foi ajustar uma elipse à ela e usar o centro geométrico como centro da emissão ultravioleta já que a separação entre os máximos pode ser devido a uma estrutura de poeira que está obscurecendo o núcleo.

3.2.2 Caracterização das regiões circumnucleares

Uma inspeção visual das imagens (ver figura 4.1) é o suficiente para concluir que elas possuem formas bastante irregulares. Com o objetivo de medir a extensão máxima da emissão no ultravioleta procuramos por um método que permitisse obter um valor médio que não fosse muito sensível às irregularidades de cada imagem. Decidimos usar a rotina *contour* que desenha contornos de igual intensidade sobre a imagem, onde o usuário pode escolher o nível desejado para os contornos. Fizemos alguns testes com diferentes valores de intensidade para esses níveis a fim de escolher um valor que pudesse delimitar as regiões. Começamos com o valor do céu mais 1σ – que é a dispersão do valor médio do céu. Para a grande maioria das imagens esses contornos resultaram difusos e não foi possível identificar uma curva que delimitasse a emissão. Aumentando gradativamente esse nível chegamos à conclusão que o valor médio do céu mais 5σ era um bom compromisso para todas as galáxias, pois assim era possível ter contornos bem definidos que não ultrapassassem as bordas da imagem para a maioria das galáxias. Para as galáxias NGC 3031, NGC 4258, NGC 4565, NGC 5194 cujos contornos extendiam-se além das bordas da imagem tivemos que adotar como limite a extensão do campo de visão. Como estamos interessados na emissão circumnuclear, procuramos não incluir nos contornos regiões emissoras muito distantes como os braços espirais do disco galáctico, que aparecem em imagens de algumas galáxias mais distantes da amostra. Assim, adotamos como contorno mais externo o correspondente à região dentro da qual a emissão era aproximadamente contínua, evitando incluir braços espirais e/ou regiões de formação estelar no disco da galáxia.

Para obter um tamanho para a extensão decidimos aproximar os contornos por alguma forma geométrica. Como a maioria dos contornos tinha uma forma mais ou menos elipsoidal aproximamos a distribuição de brilho níveis isofotais elípticos. O valor máximo da extensão – entendida como distribuição contínua delimitada por um contorno – foi adotado como sendo o semi-eixo maior da menor elipse que incluísse todo contorno isofotal correspondente ao valor de 5σ acima do céu. Utilizamos a tarefa *ellipse* que ajusta elipses sucessivas à imagem de fora para dentro. Para realizar o ajuste, foi necessário fornecer os seguintes parâmetros de entrada: o centro da elipse, o semi-eixo maior máximo (a_{max}), elipticidade ($e = 1 - (b/a)$), ângulo de posição (p_a) do eixo maior, o intervalo em pixels

entre uma elipse e outra (*passo*), etc. O programa tenta ajustar elipses a sucessivos níveis isofotais. Utilizando os contornos da distribuição gerados pelo *contour*, estimamos os valores de semi-eixo maior máximo, elipticidade e ângulo de posição da elipse mais externa. A posição de centro da elipse foi adotado como sendo a mesma do núcleo, como descrito na seção 3.2.1. Para assegurar um bom ajuste, utilizamos o valor do semi-eixo maior máximo mais 60 pixels como parâmetro de entrada e escolhemos um passo de 30 pixels. O ângulo de posição e elipticidade foram dados de entrada mas permitimos que o programa ajustasse novos valores a cada iteração. O centro foi mantido fixo. Essas escolhas foram feitas porque o programa não ajusta a elipse máxima, apenas lê os valores fornecidos pelo usuário através dos parâmetros de entrada, ou seja, o ajuste começa partir da segunda elipse mais externa, cujo valor de semi-eixo maior é $a = a_{max} - passo$. Portanto na terceira iteração, quando o valor do semi-eixo maior coincidia com o máximo estimado, o programa era capaz de ajustar valores de elipticidade e ângulo de posição. Os resultados desses ajustes estão discutidos no capítulo 4, bem como os valores medidos do semi-eixo maior em unidades físicas.

Esse tipo de método é sensível aos parâmetros estimados para a elipse mais externa, feita através do *contour*. Para as galáxias onde os contornos externos não são bem definidos estimamos um erro sistemático relativo de até 15%. Adotamos esse valor então como o erro relativo das nossas medidas. A figura 3.13 mostra a elipse mais externa adotada para quatro galáxias exemplificando três situações com que nos deparamos: NGC 6951e CGCG 164-019 exemplificam o caso de galáxias com contornos relativamente bem definidos onde não houve maiores problemas na determinação do semi-eixo maior. A galáxia NGC 5005 é o exemplo de um caso onde houve obscurecimento por poeira de uma parte da galáxia. As curvas de intensidade mostram o máximo da emissão onde a elipse ajustada é centrada. A galáxia NGC 3362 exemplifica o caso de galáxias cujo o campo de visão permitia enxergar os braços espirais do disco da galáctico. Como definimos que a extensão da distribuição das regiões circumnucleares deveria ser uma distribuição contínua, os braços não fora incluídos no ajuste das elipses. Como o leitor verá no capítulo 4 a valor do semi-eixo maior da elipse mais externa adotada para a NGC 3362 foi de ~ 1.7 kpc.

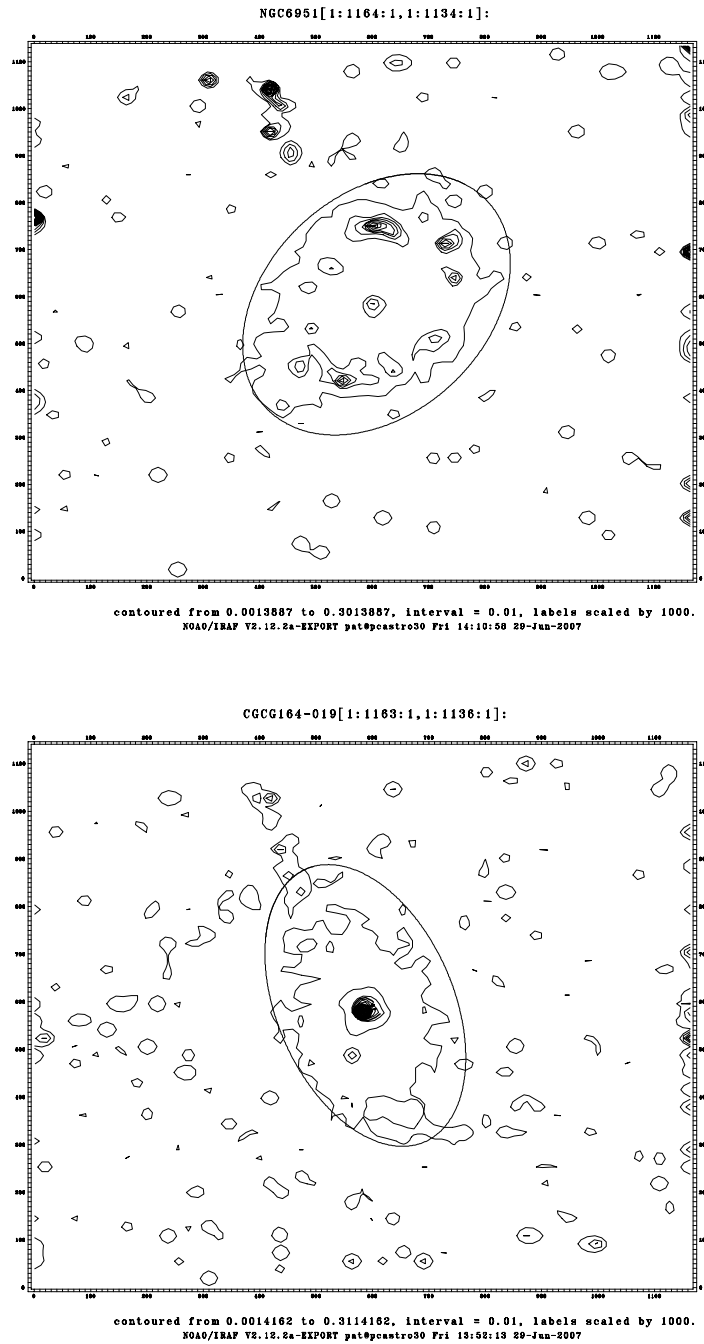


Figura 3.13: Exemplos de elipses externas adotadas para quatro galáxias (valor do céu mais 5σ): NGC 6951 e CGCG 164-019 no primeiro e segundo painéis ilustram a maioria dos casos. No terceiro painel temos a galáxia NGC 5005 mostrando o caso de uma galáxia que possui uma parte obscurecida. No quarto e último painel, temos o exemplo de uma galáxia em que enxergamos os braços espirais que estão situados no disco galáctico.

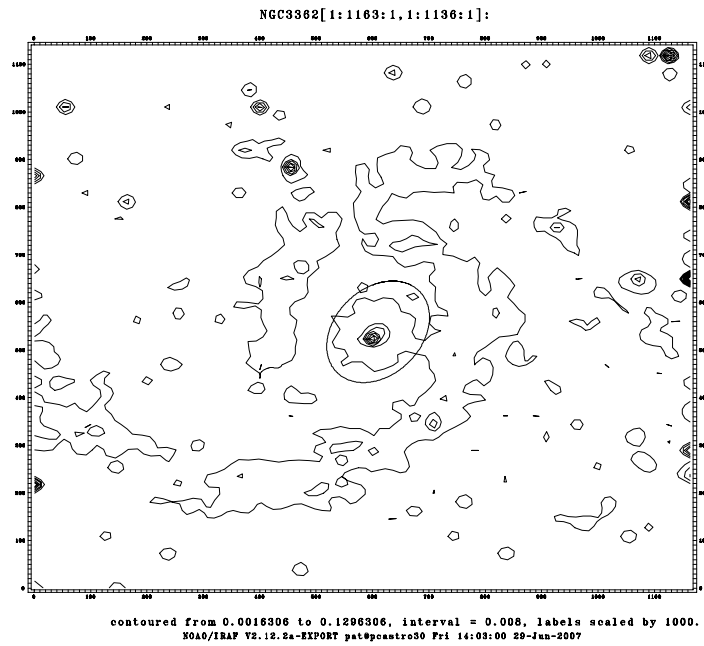
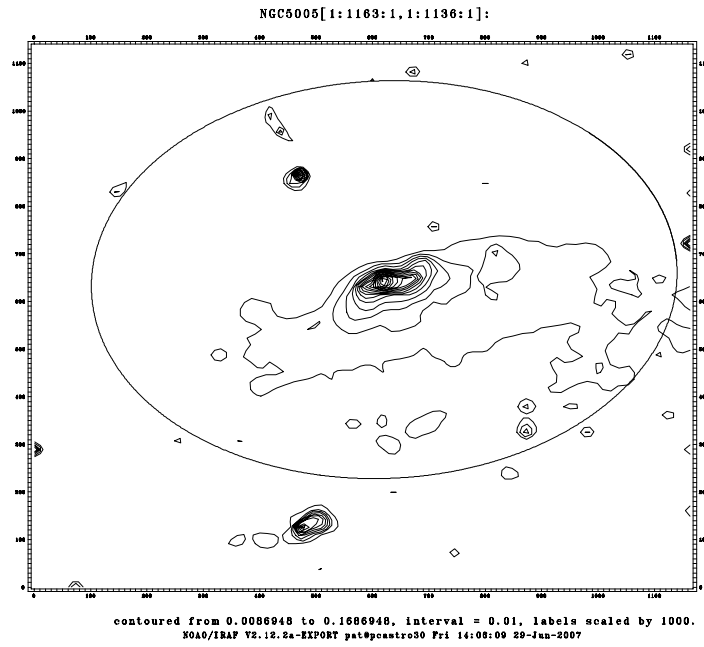


Figura 3.14: Continuação da figura 3.13.

3.2.3 Fotometria

A tarefa *polyphot* do IRAF computa fluxos dentro de aberturas poligonais. O número máximo de vértices utilizados para formar o polígono é 900. Como esse número é relativamente grande é possível aproximar uma elipse por um polígono. Optamos então por computar o fluxo de nossas galáxias dentro de aberturas poligonais que se aproximassem de elipses – a partir de agora chamadas de aberturas elípticas. Cada galáxia teve seu fluxo computado em diversas aberturas elípticas concêntricas. A mais externa de todas tinha os mesmos parâmetros da elipse externa adotada: semi-eixo maior estendendo-se do centro até o valor de céu mais 5σ , elipticidade e ângulo de posição computados pelos programas. As demais elipses eram internas à essa, todas com a elipticidade e ângulo de posição adotados como sendo os mesmos da elipse externa, mas variando o tamanho do semi-eixo maior. O menor valor de semi-eixo maior foi escolhido como sendo o equivalente em pixels a 100 pc na galáxia, o segundo a 200 pc, o terceiro a 300 pc e assim sucessivamente. Por exemplo, para uma galáxia cujo $a_{max} = 460$ pc foi computado o fluxo dentro de cinco aberturas elípticas com os seguintes valores de semi-eixo maior: 100 pc, 200 pc, 300 pc, 400 pc e 460 pc. Escolhemos valores com unidades físicas ao invés de angulares – como pixels ou segundo de arco – para que a comparação dos fluxos entre as galáxias correspondesse às mesmas regiões. Também computamos o fluxo de uma abertura circular de raio igual a 9 pixels utilizando o *phot*, pois é nessa região que temos o máximo central da PSF e os resíduos negativos após sua subtração. Esse valor foi descontado no cálculo das magnitudes de cada abertura de todas as galáxias, devido ao fato de ser impreciso no caso das galáxias Seyfert 1 e porque um dos nossos objetivos é comparar as propriedades das regiões circumnucleares e não da fonte central.

Escrevemos um programa utilizando a linguagem OCTAVE** para calcular os vértices das aberturas elípticas. Para cada galáxia calculamos os valores de semi-eixo maior de cada abertura (100 pc, 200 pc, 300 pc ...) em pixels, e usando a elipticidade foi possível calcular também os valores de semi-eixo menor de cada abertura. Começamos calculando os vértices de uma elipse cujo semi-eixo maior está projetado ao longo do eixo cartesiano y e está centrada na origem. Então, a equação da elipse em coordenadas cartesianas é:

$$\left(\frac{y - y_0}{a}\right)^2 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2 = 1,$$

onde a é o semi-eixo maior e b o semi-eixo menor e $(x_0, y_0) = (0, 0)$.

Utilizamos os valores do semi-eixo menor para delimitar o intervalo de x para podermos calcular os valores de y , por exemplo: se $b = 23$ pixels para uma dada abertura, x assumia os valores $-23, -22, -21, \dots, -1, 0, 1, \dots, 21, 22, 23$. Calculados os vértices para uma elipse cujo semi-eixo maior a estava projetado no eixo y precisávamos agora fazer uma

**<http://www.octave.org/>

rotação rígida dos pontos, pois as nossas distribuições de brilho no ultravioleta possuíam seus semi-eixos maiores inclinados por um ângulo de posição p_a em relação aos eixos x, y . A equações que nos fornecem os valores rotacionados x', y' para os vértices são:

$$\begin{aligned}x' &= (x \times \cos p_a) + (y \times \sin p_a) \\y' &= (-x \times \sin p_a) + (y \times \cos p_a).\end{aligned}$$

Por último transladamos os vértices de modo que o centro dessa elipse coincidisse com o máximo de emissão (posição do núcleo). A figura 3.15 mostra um exemplo das aberturas elipsoidais para a galáxia NGC 6951.

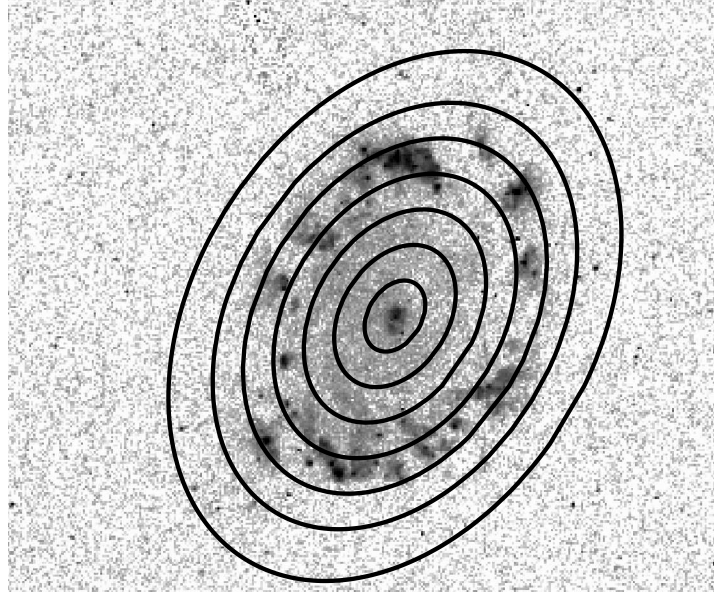


Figura 3.15: A galáxia NGC 6951 e suas sete aberturas fotométricas, com os seguintes valores de semi-eixo maior: 100 pc, 200 pc, 300 pc, 400 pc, 500 pc, 600 pc e 746 pc – valor correspondente ao céu mais 5σ .

Para executar a tarefa *polyphot* é preciso ajustar os parâmetros de: *datapars*, *centerpars*, *fitskypars*, *polypars* e da própria tarefa *polyphot*. Os valores do máximo da emissão e dos vértices foram lidos de um arquivo, portanto não utilizamos algoritmo de centragem em *centerpars*. Como o céu já havia sido subtraído o algoritmo de ajuste do céu que utilizamos foi uma contante de valor nulo em *fitskypars*. Mais detalhes e um exemplo de como a tarefa foi executada podem ser encontrados no apêndice A. O *polyphot* fornece como saída as contagens ($e^- s^{-1}$) dentro da abertura em questão. Para cada abertura fotométrica de uma dada galáxia a contribuição proveniente da abertura de raio $r = 9$ pixels centrada no núcleo – obtida com o *phot* – foi descontada tanto das galáxias Seyfert 1 quanto para

as Seyfert 2. Esse procedimento garantiu que a emissão proveniente diretamente do núcleo não interferisse nas regiões circumnucleares.

Para transformar para magnitude aparente utilizamos o sistema STMAG através da fórmula:

$$m_{obs} = -2.5 \times \log(\text{contagens} \times PHOTFLAM) - 21.20,$$

onde *PHOTFLAM* é o inverso da sensibilidade, uma *keyword* que pode ser encontrada no cabeçalho das imagens. Corrigimos as magnitudes pelo avermelhamento devido à extinção galáctica utilizando os coeficientes dados por Sirianni et al. (2005), que foram calculados utilizando da lei de extinção de Cardelli et al. (1989). Como a correção para um filtro particular depende da forma do contínuo da fonte emissora, fizemos uma média entre os coeficientes fornecidos por Sirianni et al. para galáxias Sc e elípticas, obtendo a seguinte relação:

$$\frac{A_{F330W}}{E(B - V)} = 5.054,$$

então a magnitude corrigida é:

$$m = m_{obs} - A_{F330W}.$$

Computamos a magnitude absoluta de cada abertura através da relação:

$$M = m + 5 - 5 \times \log D,$$

onde *D* é a distância da galáxia. Para calcular o brilho superficial diferencial, primeiramente diminuimos das contagens de uma dada abertura das contagens da abertura mais interna a ela e calculamos a área dessa região “anelar” A_{dif} . Esse fluxo diferencial é dado por:

$$F_{dif} = 10^{(0.4 \times A_{F330W})} (\text{contagens}_{dif} \times PHOTFLAM),$$

e o brilho superficial diferencial é:

$$\mu = -2.5 \times \log \left(\frac{F_{dif}}{A_{dif}} \right) - 21.10.$$

Os resultados estão discutidos no capítulo 4.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo discutimos os resultados da análise das imagens segundo os métodos discutidos no capítulo anterior, comparando os resultados obtidos das galáxias Seyfert 1 com os obtidos para as galáxias tipo Seyfert 2.

4.1 Imagens resultantes das galáxias Seyfert 1 vs. Seyfert 2

A figura 4.1 mostra um dos principais resultados do presente trabalho: a emissão ultravioleta dos pares de galáxias da nossa amostra resultante após a subtração da PSF nas imagens das galáxias Seyfert 1. Na coluna da esquerda temos as galáxias classificadas como Seyfert 1–1.9 e na coluna da direita, as Seyfert 2, de modo que na mesma linha estão as galáxias pertencente ao mesmo par. Todas as imagens da figura 4.1 estão na mesma escala de intensidade ($0-0.5 \text{ e}^- \text{s}^{-1}$) para que fosse possível fazer uma análise comparativa entre as galáxias do mesmo par. As imagens estão alinhadas com o norte apontando para cima e o leste para a esquerda. Os quinze primeiros pares são de galáxias cuja classificação é Seyfert 1 ou Seyfert 1.2 ou Seyfert 1.5 versus Seyfert 2 e os treze restantes levam a classificação Seyfert 1.8 ou Seyfert 1.9 versus Seyfert 2.

Embora se observe nas imagens de algumas galáxias Seyfert 1–1.9 os “buracos” devido aos pixels negativos, a subtração da PSF foi fundamental para permitir a observação de estruturas circumnucleares que não apareciam antes da subtração. Em particular, as galáxias MRK 6, MRK 915, NGC 3227, NGC 5273 e UGC 12138 mostram estruturas que estavam ofuscadas pela PSF antes de sua subtração, e por isso foram classificadas como puntuais por Muñoz Marín et al. (2007). Nosso trabalho mostra que a morfologia das galáxias Seyfert 1–1.9 é revelada na maioria dos casos somente após a subtração da PSF.

Tanto nas galáxias Seyfert 1–1.9 como nas Seyfert 2 observa-se estruturas que incluem anéis de formação estelar, espirais, nós, emissão difusa e filamentos dentro dos kiloparsecs centrais das galáxias. Somente a galáxia NGC 6814 possui morfologia puntual não apresentando nenhuma estrutura estendida mesmo após a remoção de 90% de contribuição

da PSF. As demais galáxias Seyfert 1–1.9 apresentam emissão estendida no ultravioleta cuja morfologia não difere muito da observada nas galáxias Seyfert 2. Vários pares são especialmente semelhantes como: NGC 4565–NGC 6300 e NGC 5033–NGC 5005 que apresentam obscurecimento por poeira para um lado do núcleo, os pares NGC 2639–NGC 449 e NGC 5674–NGC 3362 que apresentam braços espirais, MRK 6–ESO 137-G35 que apresenta emissão difusa, MRK 334–NGC 5256 que apresenta nós de emissão intensa mais emissão difusa, UGC 1395–NGC4939 apresenta braços espirais nucleares, etc. Em particular observamos anéis de formação estelar dentro do kiloparsec central nas galáxias Seyfert 1–1.5: MRK 42, MRK 493 e NGC 7469 que já era conhecido (Wilson et al. 1991).

4.2 Subtração da PSF

O resultado da subtração da PSF está sumarizado na tabela 4.1, que mostra a percentagem de PSF que foi subtraída das imagens das galáxias Seyfert 1. Para as galáxias MRK 493 e NGC 6814 essa percentagem de subtração não é muito confiável porque suas imagens **_FLT** estavam ambas saturadas. Excluindo essas duas galáxias a média de percentagem de PSF subtraída é 64%, ou seja, a fonte central nas galáxias Seyfert 1–1.9 de nossa amostra contribui 64%, em média, para a emissão do núcleo das galáxias, e o restante (36%) sendo devido à componente estelar. Todas as galáxias classificadas como Seyfert 1–1.5, exceto MRK 516, tiveram a PSF subtraída de suas imagens – a média de subtração para essa classe foi 65% – enquanto que somente para três das treze galáxias classificadas como Seyfert 1.8–1.9 a subtração foi feita – a média de subtração para essas três foi 60%.

Galáxia	Percentagem	Galáxia	Percentagem
MRK 6	75	MRK 40	80
MRK 42	65	MRK 231	45
MRK 493	65	MRK 766	50
MRK 915	50	NGC 3227	75
NGC 3516	75	NGC 4543	65
NGC 5033	70	NGC 5273	60
NGC 5548	55	NGC 5940	65
NGC 6814	90	NGC 7469	80
UGC 12138	50		

Tabela 4.1: Percentagem de subtração de PSF para as galáxias onde a mesma foi executada. Cols. (1) e (3): identificação; Cols. (2) e (4): percentagem da subtração.

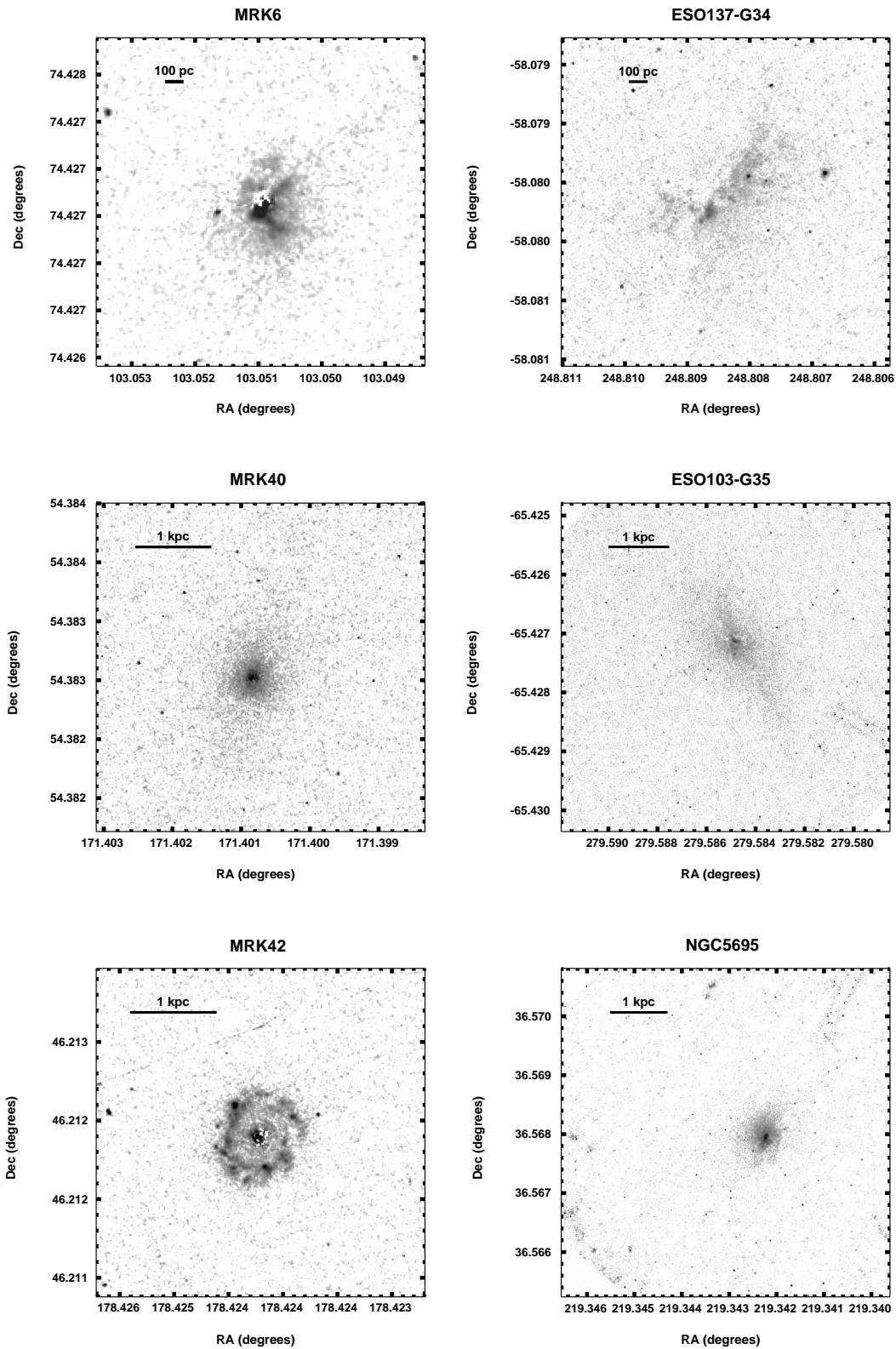


Figura 4.1: Pares de galáxias. Cada linha mostra imagens de um par, onde a coluna da esquerda mostra as galáxias Seyfert 1-1.9 e a da direita as Seyfert 2.

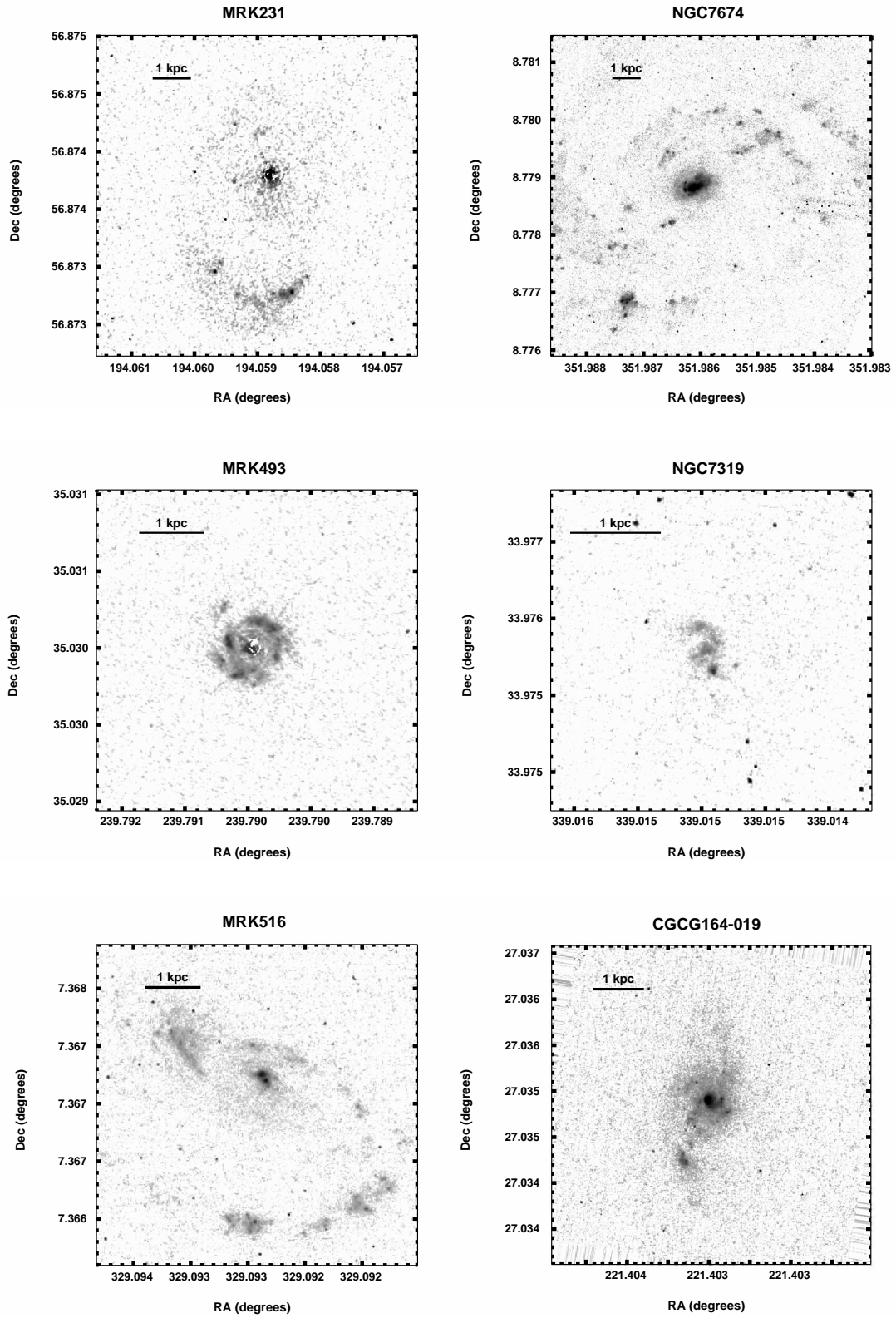


Figura 4.2: Continuação da figura 4.1

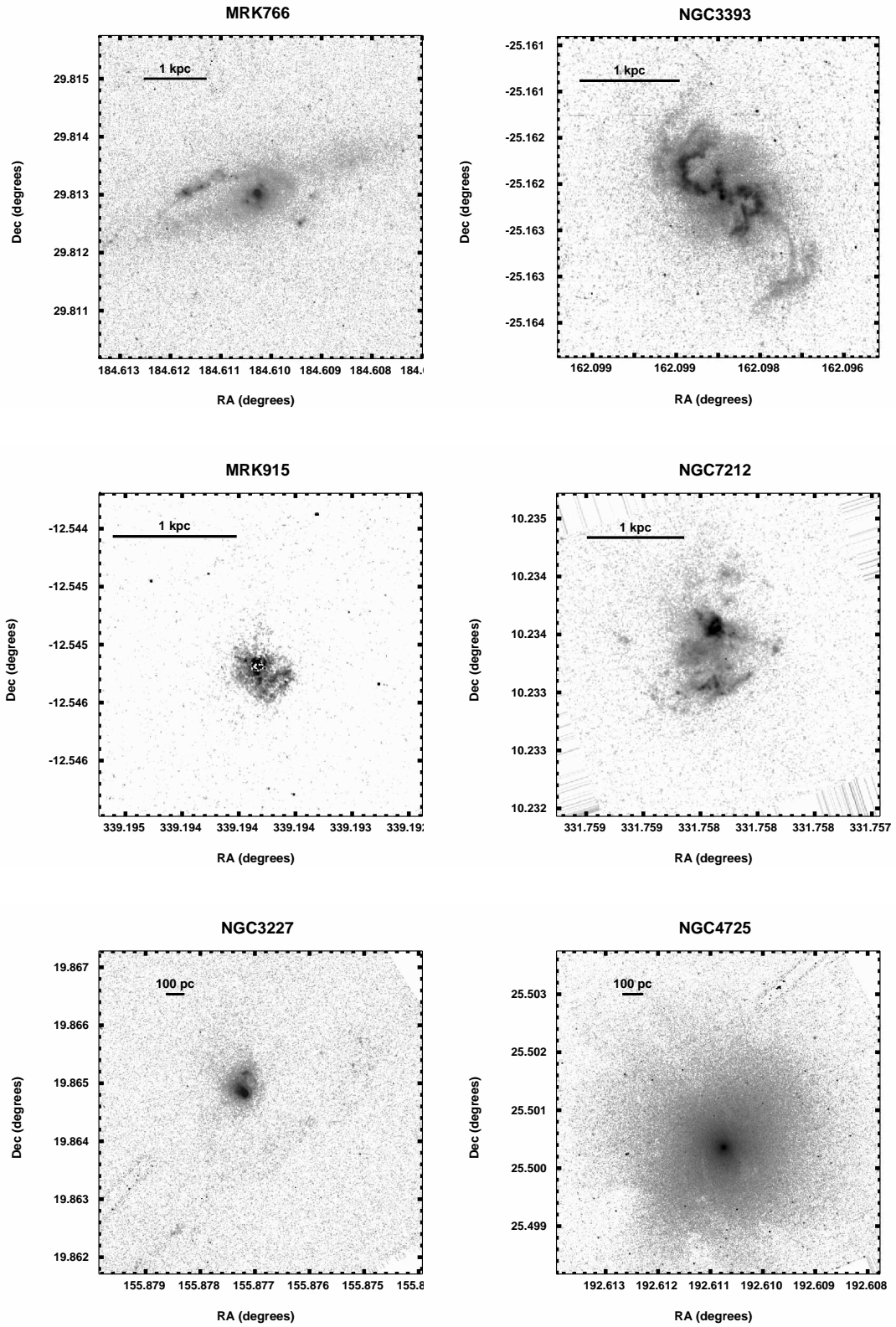


Figura 4.3: Continuação da figura 4.1.

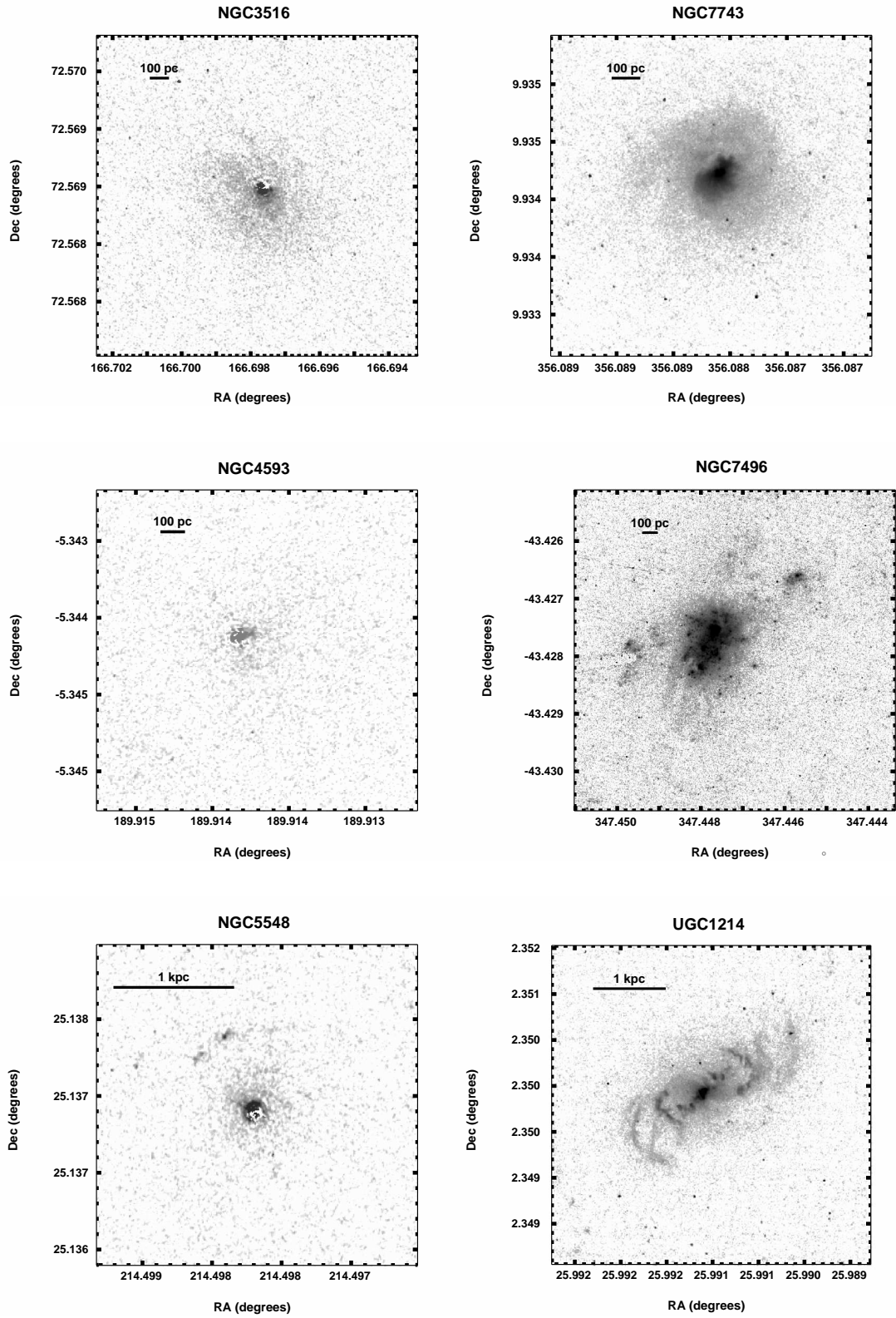


Figura 4.4: Continuação da figura 4.1.

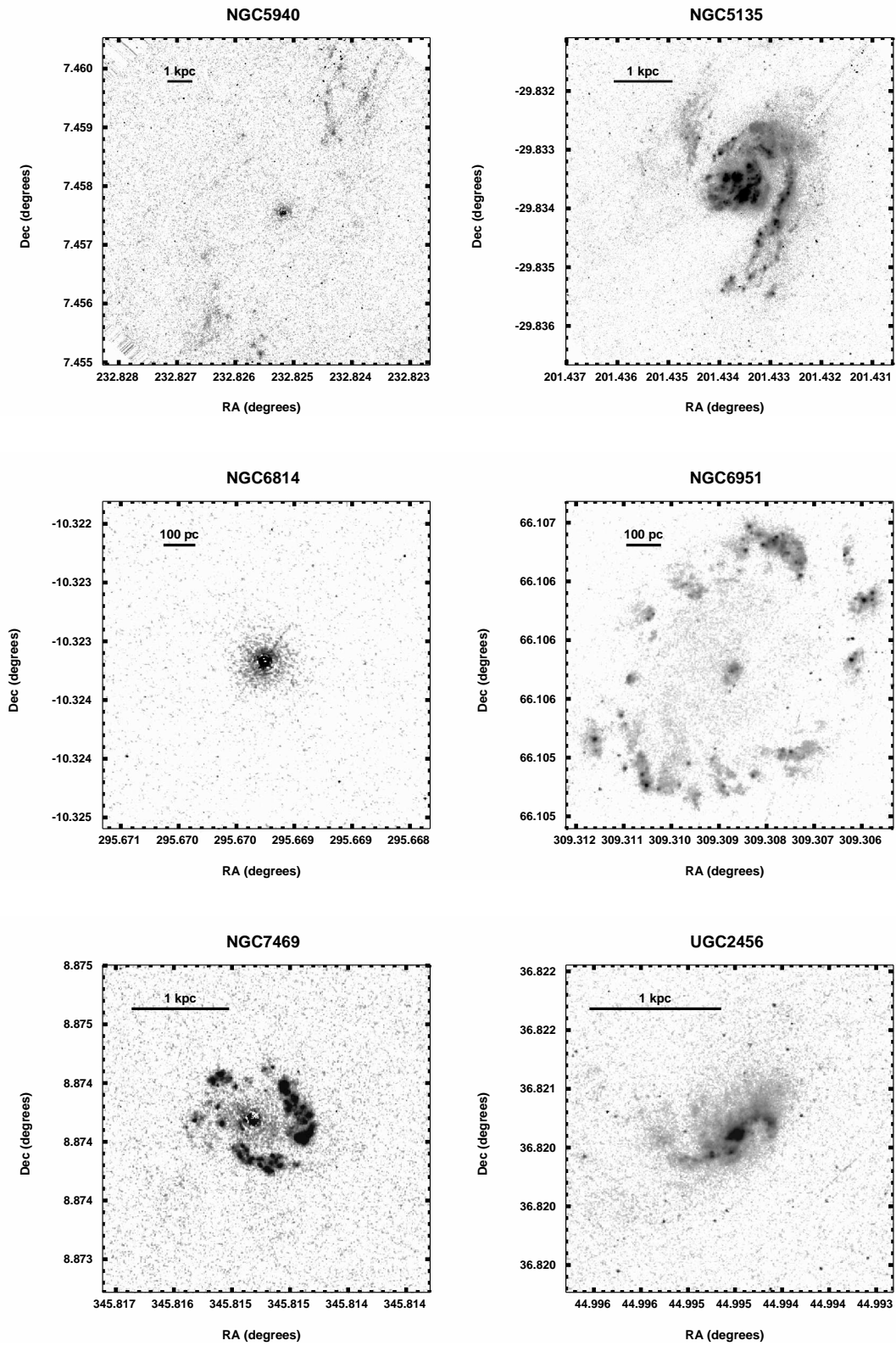


Figura 4.5: Continuação da figura 4.1.

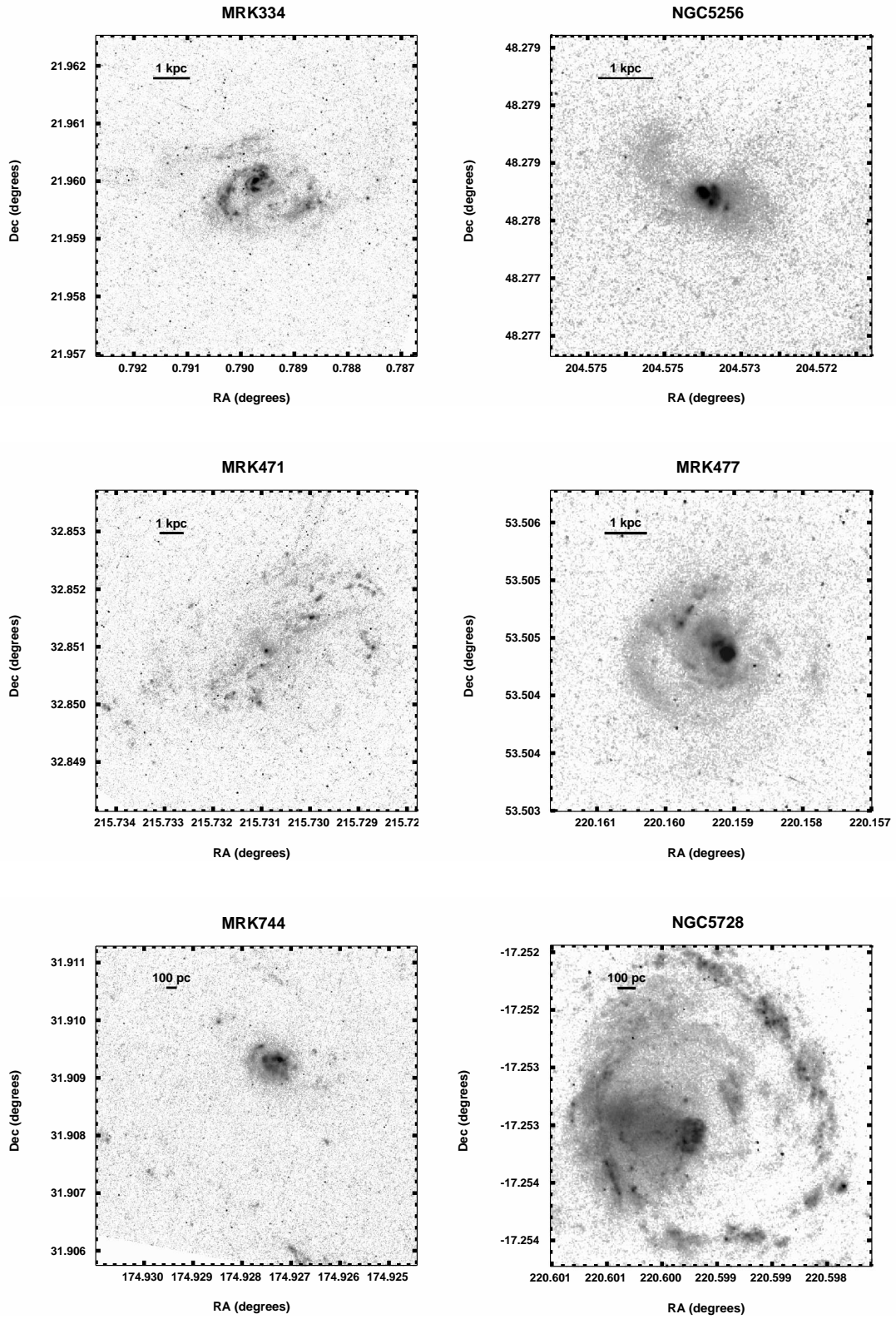


Figura 4.6: Continuação da figura 4.1.

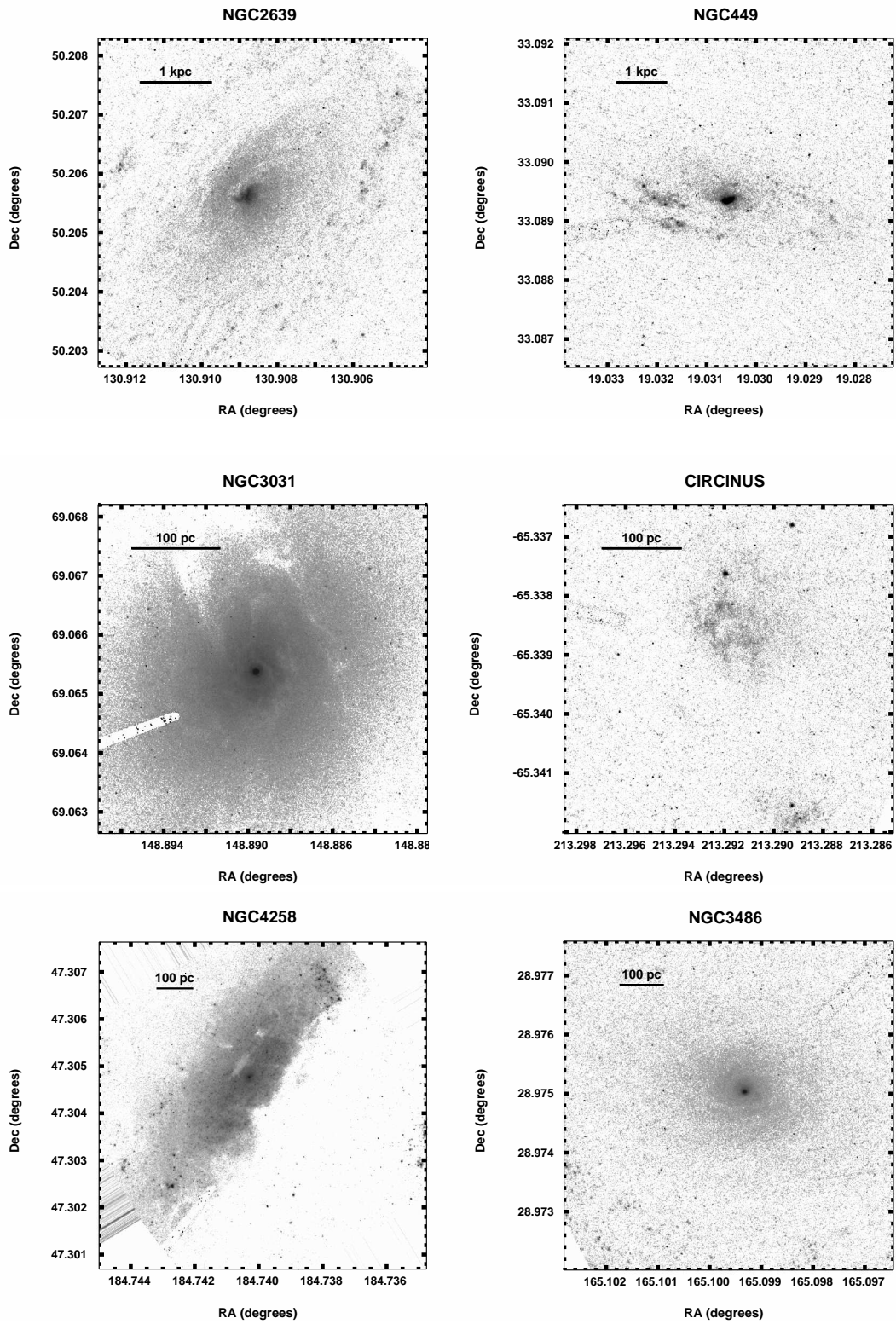


Figura 4.7: Continuação da figura 4.1.

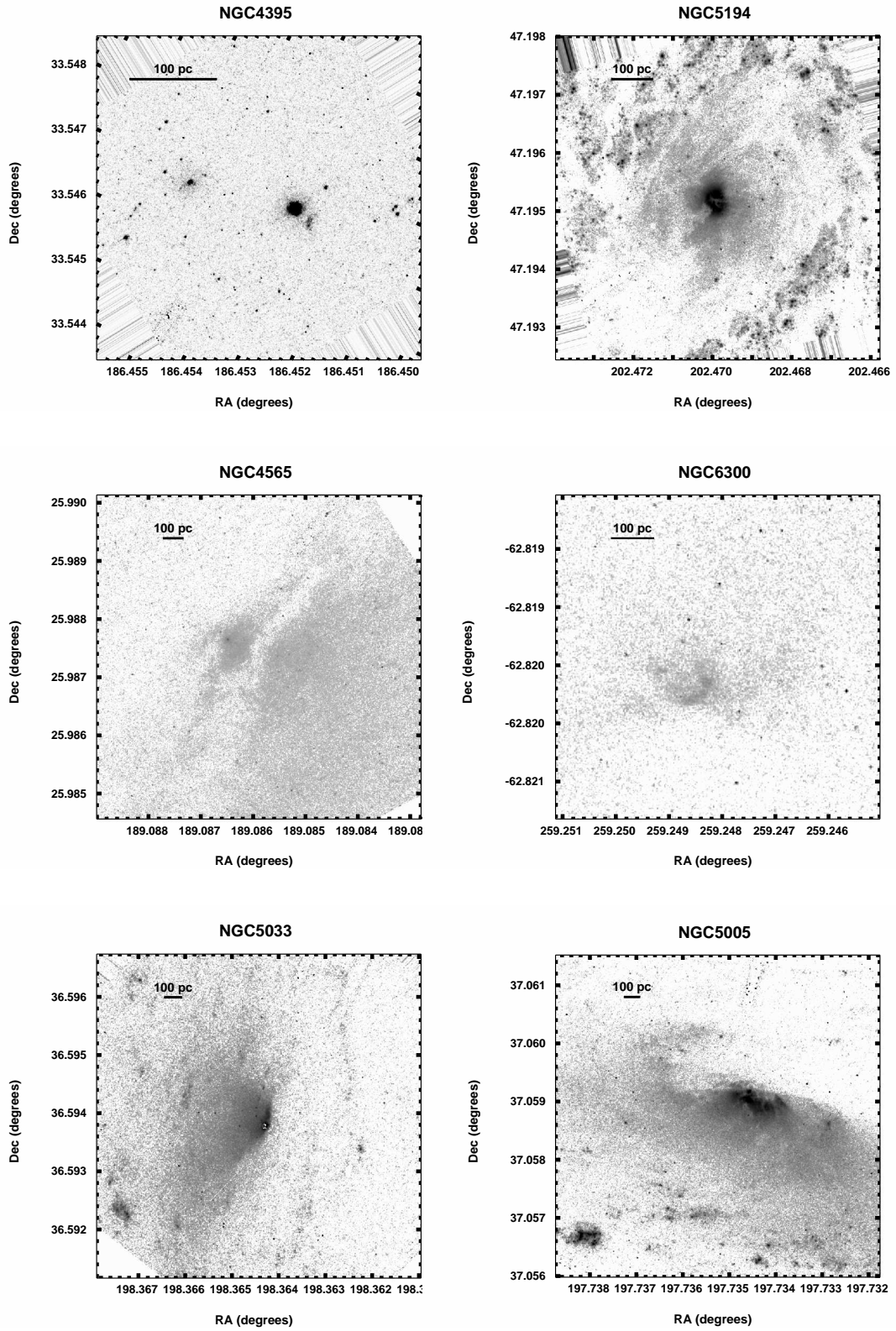


Figura 4.8: Continuação da figura 4.1.

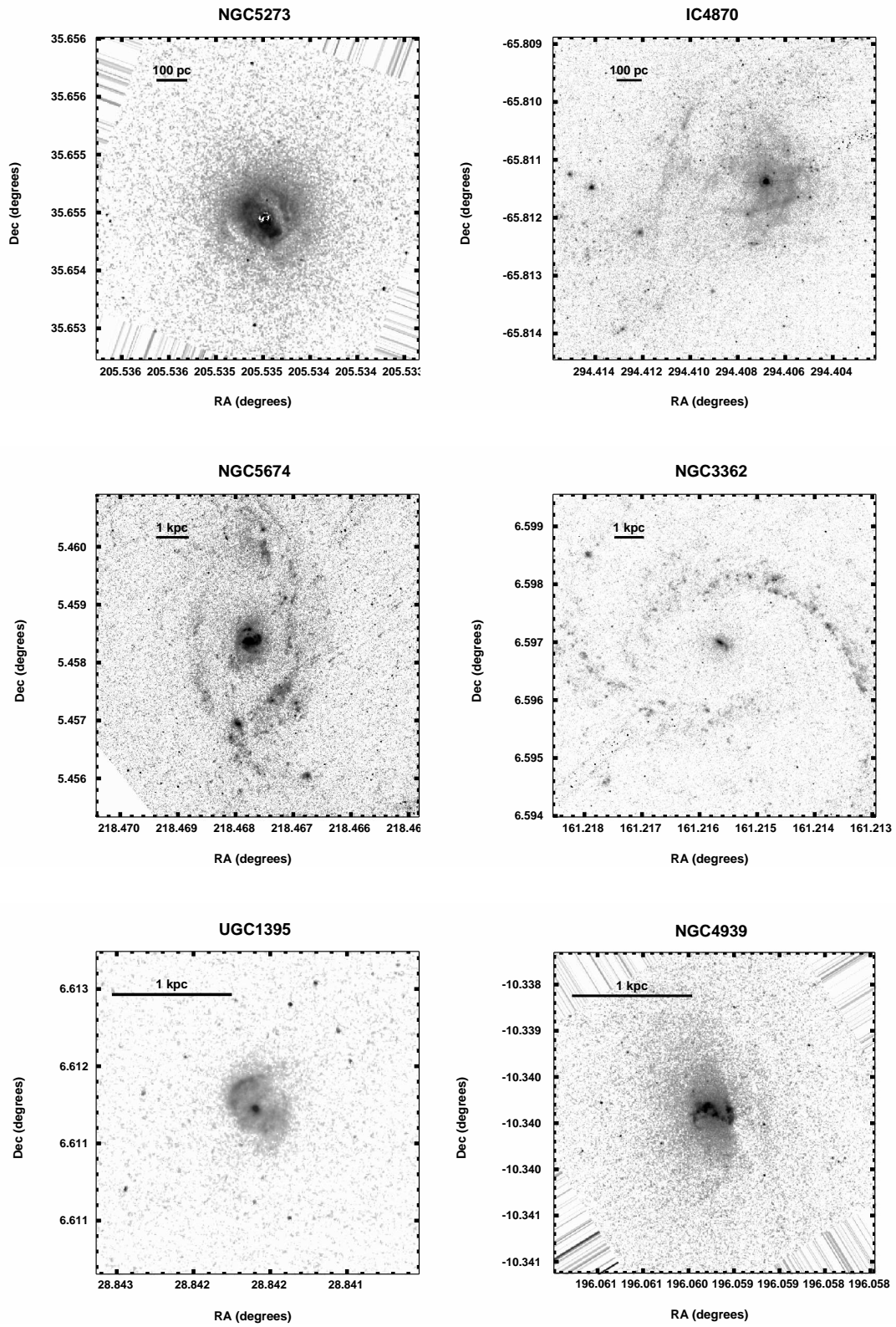


Figura 4.9: Continuação da figura 4.1.

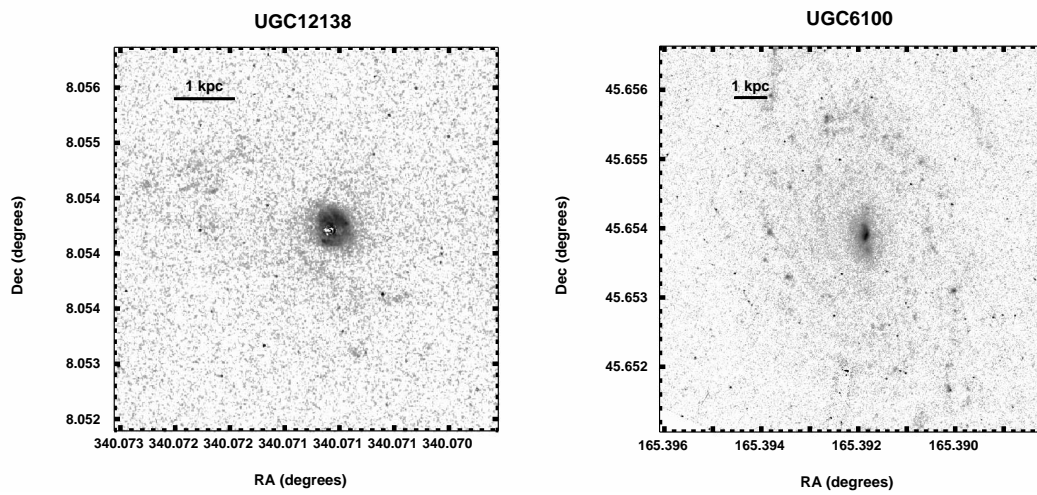


Figura 4.10: Continuação da figura 4.1.

A seguir investigamos se a percentagem de PSF subtraída possuía alguma correlação com as seguintes propriedades da galáxia hospedeira listadas na tabela 2.1: razão axial da galáxia, tipo morfológico de Hubble e magnitude na banda B. Para isto, construímos gráficos da percentagem de subtração da PSF para cada galáxia versus a razão axial, parâmetro T e magnitude absoluta, apresentados nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13.

Se a emissão proveniente da região não resolvida dependesse da orientação da galáxia hospedeira, esperaríamos encontrar uma correlação da percentagem de subtração com a razão axial. Por exemplo, se a galáxia estivesse muito inclinada, poderia ocorrer obscurecimento da fonte central por poeira que estivesse no disco da galáxia. Então, quanto mais “de frente” estivesse a galáxia – o que corresponde a valores maiores para b/a – mais emissão proveniente do núcleo seria possível visualizar e portanto maior seria a percentagem de subtração da PSF. A figura 4.11 não mostra nenhuma correlação, o que indica que a emissão da fonte central não parece estar sendo afetada pela inclinação da galáxia. Isto se deve em parte ao fato de que a mostra não contém galáxias muito inclinadas, o que fica evidente pela quase inexistência de valores pequenos de b/a na nossa amostra.

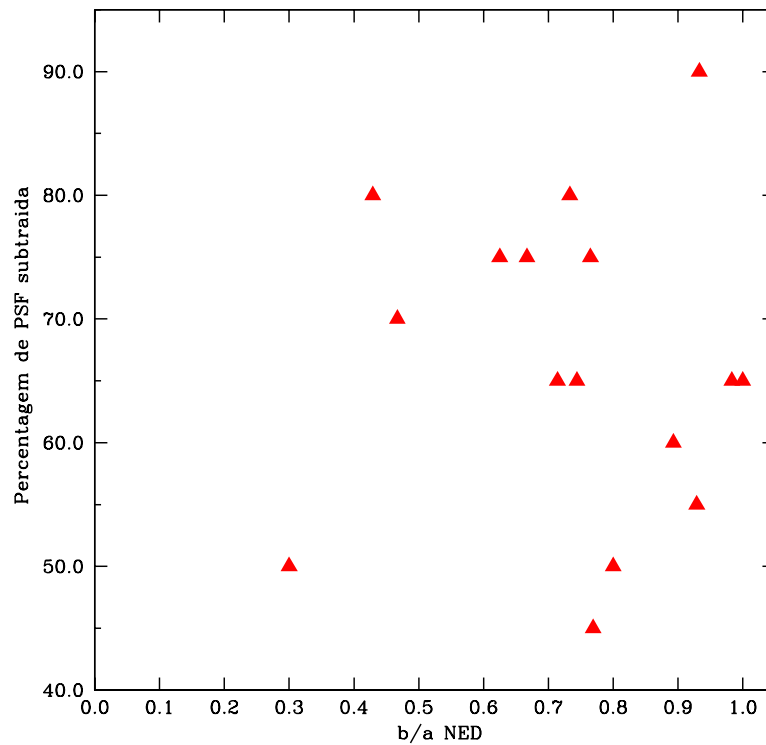


Figura 4.11: Percentagem de subtração da PSF versus a razão axial da galáxia hospedeira.

Quanto ao tipo morfológico, esperaríamos encontrar uma anti-correlação com a percentagem da PSF. Ou seja, quanto mais *early-type* fosse a galáxia – valores menores de T – esperaríamos uma maior contribuição da PSF, pela menor contribuição da poeira nestas galáxias, que pode obscurecer a região central de galáxias mais *late-type*. A figura 4.12 não mostra tal anti-correlação, indicando que não há nenhuma dependência entre T e a contribuição da PSF.

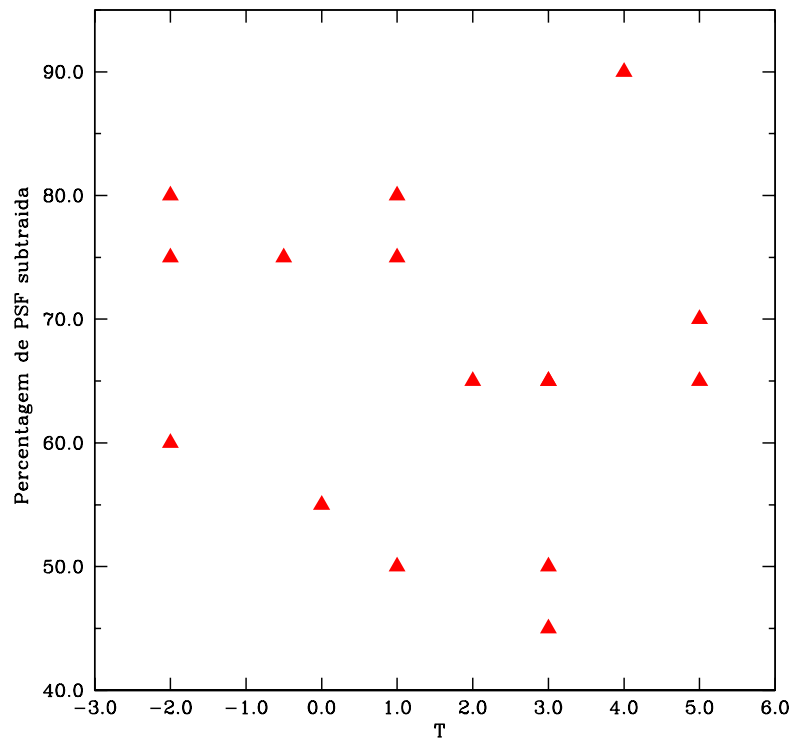


Figura 4.12: Percentagem de subtração da PSF versus tipo morfológico de Hubble através do parâmetro T .

Finalmente, investigamos se havia alguma correlação entre a magnitude absoluta na banda B da galáxia e a percentagem da PSF. Poderia ser, por exemplo, que a luz do bojo das galáxias hospedeiras mais brilhantes – menores valores de M – contribuísse mais para a luminosidade do núcleo, levando a uma menor contribuição da PSF, mas a figura 4.13 mostra que isto não ocorre.

Assim podemos concluir que a emissão proveniente das regiões nucleares está desvinculada das propriedades da galáxia hospedeira.

A partir da fotometria em anéis descrita na seção anterior, construímos perfis de brilho superficial que serão descritos na subseção 4.4. Aqui utilizamos estes perfis para

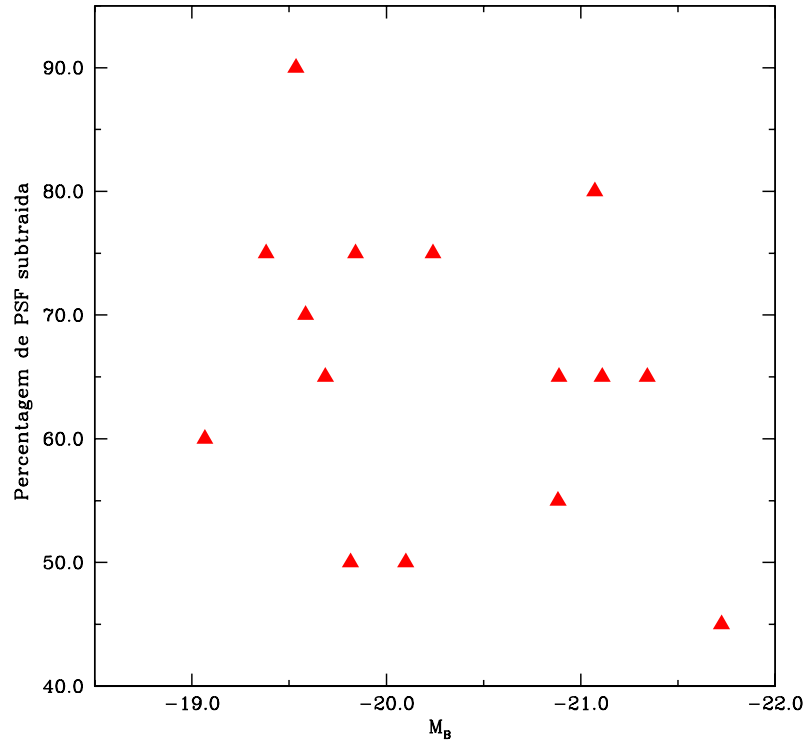


Figura 4.13: Porcentagem de subtração da PSF versus a razão a magnitude na banda B da galáxia hospedeira.

ilustrar como a subtração da PSF afeta a forma do perfil de brilho das galáxias Seyfert 1–1.9. Nas figuras 4.14, 4.15 e 4.16 mostramos como exemplo, o perfil de brilho superficial das galáxias MRK 766, MRK 915 e NGC 5548 respectivamente, antes e depois da subtração da PSF de referência bem como o perfil de brilho da própria PSF de referência de cada galáxia. O brilho superficial da PSF foi medido utilizando as mesmas aberturas que as das suas respectivas galáxias.

O eixo vertical das figuras mostra o brilho superficial e o eixo horizontal inferior mostra o tamanho do semi-eixo maior do anel elíptico correspondente em segundos de arco, enquanto que o eixo horizontal superior mostra o tamanho em parsecs na galáxia. A linha vertical tracejada delimita a região correspondente ao máximo central da PSF, ou seja a região delimitada por uma circunferência de raio $r = 9$ pixels. O menor valor de semi-eixo utilizado na construção dos perfis corresponde a 100 pc na galáxia conforme explicado na seção 3.2.3. O quadro no canto superior direito mostra as regiões mais internas ampliadas.

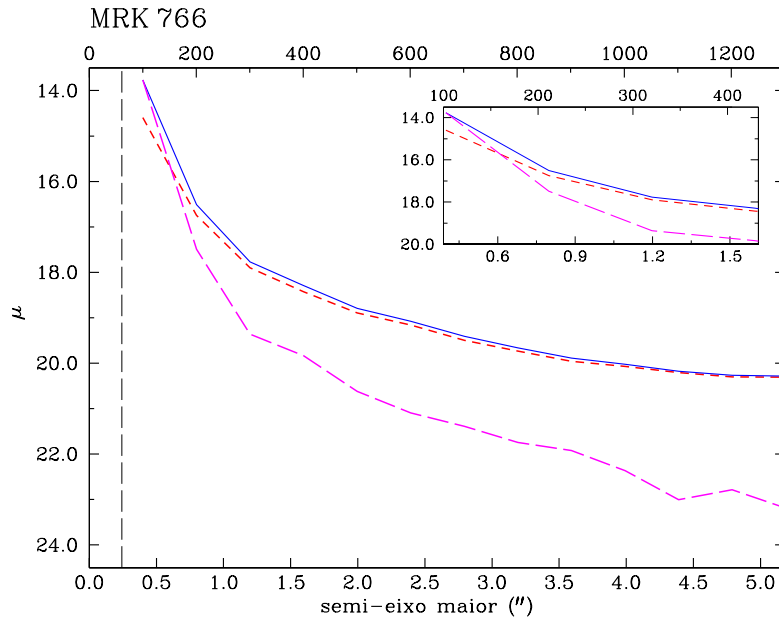


Figura 4.14: Linha azul contínua: perfil da galáxia antes da subtração da PSF. Linha vermelha com tracejado curto: perfil da galáxia após a subtração de uma percentagem de 50% da PSF de referência. Linha magenta com tracejado longo: perfil da PSF de referência. Linha tracejada vertical: região de influência do máximo central da PSF ($r = 9$ pixels).

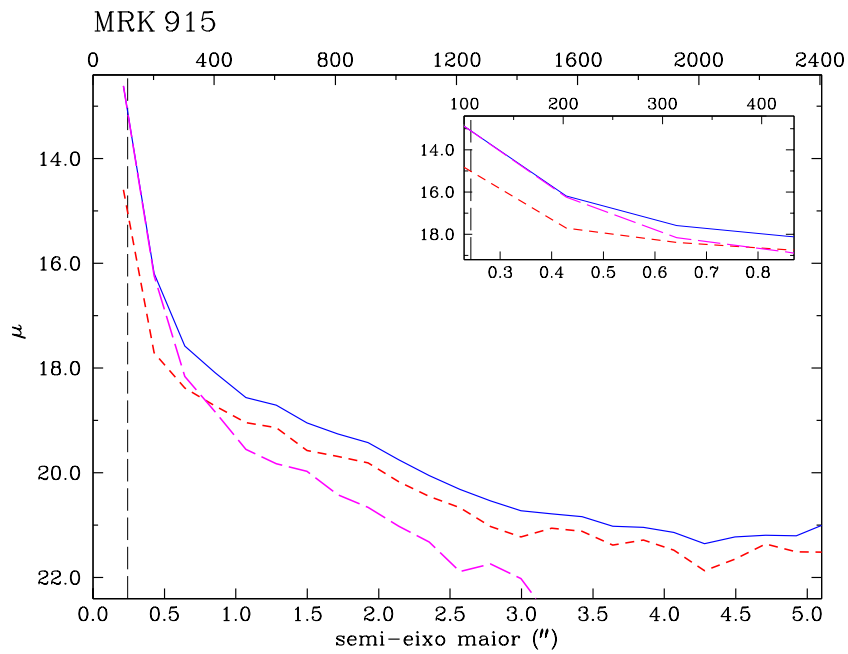


Figura 4.15: O mesmo para a galáxia MRK 915.

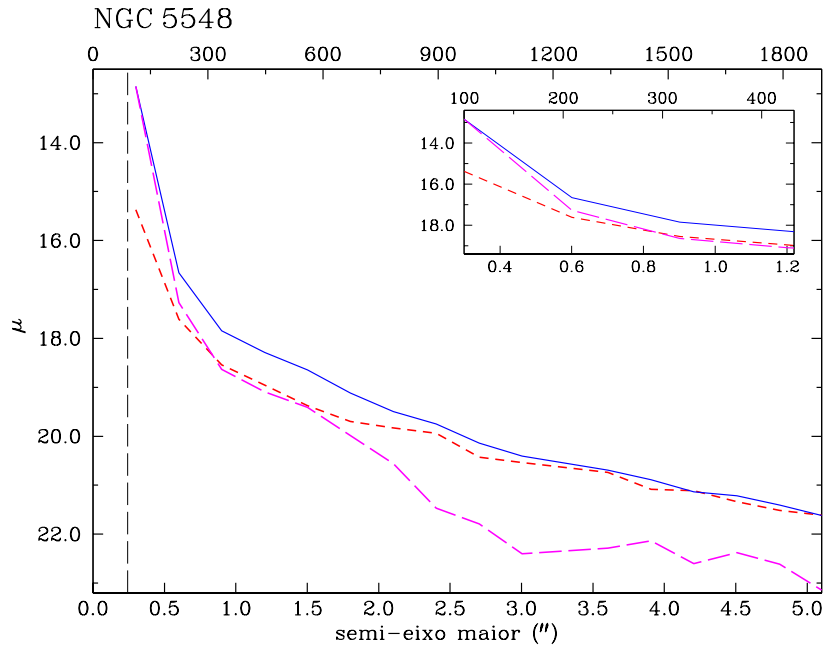


Figura 4.16: O mesmo para a galáxia NGC 5548.

4.3 Morfologia

4.3.1 Extensão da emissão

Um dos objetivos do nosso trabalho é quantificar a extensão da emissão no ultravioleta e compará-la entre as galáxias Seyfert 1–1.9 e Seyfert 2. Como discutido no capítulo anterior, isto foi feito através da aproximação da extensão máxima pelas menores elipses que incluem a emissão com valor mais alto que 5 vezes o valor do σ do céu. Chamamos esta elipse de elipse máxima. As propriedades das elipses máximas obtidas para cada galáxia, bem como outros resultados da análise descrita na seção anterior estão listados na tabela 4.2. As colunas da tabela trazem os seguintes valores para a elipse máxima: elipticidade, ângulo de posição do semi-eixo maior, extensões do semi-eixo maior e semi-eixo menor em parsecs. Também fornece valores de: magnitude absoluta compreendida em uma região anelar elíptica com semi-eixo maior interno igual 200 e externo 500 pc – os valores da região compreendida dentro do raio de $r = 9$ pixels foram descontados; o mesmo para a região com semi-eixo maior interno igual a 200 pc e externo igual a 1000 pc; o mesmo para a região com semi-eixo maior interno igual a 500 pc e o externo 1000 pc. Listamos ainda na tabela, propriedades calculadas, como a extensão em parsecs para a região de raio $r = 9$ pixels e razão axial para a emissão ultravioleta. Incluímos ainda, propriedades da galáxia hospedeira (distância, razão axial e parâmetro T) para que o leitor possa comparar os resultados obtidos para a emissão com as propriedades da galáxia. Para facilitar a leitura da tabela

organizamo-la da seguinte forma: primeiro listamos os resultados da galáxia Seyfert 1–1.9 e logo abaixo listamos os resultados da galáxia Seyfert 2 do par. Os quinze primeiros pares correspondem a galáxias Seyfert 1, Seyfert 1.2 ou Seyfert 1.5 vs. Seyfert 2 e os treze restantes a Seyfert 1.8 ou Seyfert 1.9 vs. Seyfert 2.

A figura 4.17 mostra a distribuição dos valores de semi-eixo maior a em kiloparsecs das elipses máximas – daqui para frente identificados também como a extensão da emissão – e a razão $\frac{a_{Sy1}}{a_{Sy2}}$ entre as extensões de cada par. Cerca de 70% das galáxias Seyfert 1 tem extensão ≤ 1700 pc. O valor médio da extensão é $\langle a_{Sy1} \rangle = 1979 \pm 1771$ pc, mas a mediana é menor, 1300 pc. Para as galáxias Seyfert 2 temos uma distribuição mais espalhada, sendo que $\sim 53\%$ delas têm extensão menor que ~ 1700 pc, a extensão média é $\langle a_{Sy2} \rangle = 2053 \pm 1627$ pc e a mediana, 1683 pc.

Os altos valores da média e da mediana (entre 1 e 2 kpc) tanto para as Seyfert 1–1.9 como para as Seyfert 2 são um pouco surpreendentes, pois esperávamos que a emissão ultravioleta estivesse relacionada à atividade nuclear ou a regiões de formação estelar circumnucleares que se encontrassem dentro de algumas centenas de parsecs do núcleo. Como discutido no capítulo anterior, procuramos excluir regiões que não estivessem dentro de uma região de emissão aproximadamente contínua (do núcleo até a elipse máxima), excluindo braços espirais do disco quando detectados.

A extensão média da emissão nas galáxias Seyfert 2 é da ordem da extensão das galáxias Seyfert 1–1.9, e a grande dispersão em relação à média é devido ao intervalo de distâncias relativamente grande coberto pela amostra. Entretanto, a mediana do valor da extensão é $\approx 23\%$ maior para as Seyfert 2 do que para as Seyfert 1, o que indica que, na nossa amostra, as Seyfert 2 são um pouco mais estendidas do que as Seyfert 1 no UV.

Por outro lado, uma comparação mais robusta entre as extensões da emissão das Seyfert 1–1.9 e Seyfert 2 deve ser feita através dos pares. A média da razão dos valores de semi-eixo maior para as galáxias do par é $\langle \frac{a_{Sy1}}{a_{Sy2}} \rangle = 1.21 \pm 1.05$, indicando uma extensão média maior para as Seyfert 1–1.9, enquanto que o valor da mediana é 0.86, indicando que a extensão mediana das Seyfert 1 é um pouco menor do que nas Seyfert 2. Por outro lado, dezoito pares têm $0.5 < \frac{a_{Sy1}}{a_{Sy2}} < 1.5$, cinco pares têm $\frac{a_{Sy1}}{a_{Sy2}} < 0.5$ e cinco têm $\frac{a_{Sy1}}{a_{Sy2}} > 1.5$, ou seja, a distribuição da razão é relativamente simétrica, indicando que para $\sim 64\%$ dos pares a extensão da distribuição é similar, e para os 36% restantes, metade possuem as galáxias Seyfert 1 mais extedidas e a outra metade as Seyfert 2. A tabela 4.3 mostra quais são esses pares que estão nos extremos da distribuição e a razão entre as extensões da emissão das galáxias do par, que mostram valores semelhantes. Portanto, a comparação entre as extensões das galáxias do par não mostra preferência sistemática de um tipo de Seyfert ser mais estendido que o outro.

galáxia	D	$b/a(\text{NED})$	T	e	p_a	a	b	b/a	$r_{9\text{pix}}$	$M_{500\text{pc}}$	$M_{1000\text{pc}}$	$M_{1000-500\text{pc}}$
MRK 6	77.0	0.625	-0.5	0.495	28.640	1290±197	650±99	0.504	88.6	-17.1	-17.6	-16.5
ESO 137-G34	37.4	0.786	0.0	0.090	4.4400	1526±230	1387±209	0.909	43.0	-17.1	-17.9	-17.2
MRK 40	86.3	0.429	-2.0	0.445	54.430	1710±254	949±141	0.555	99.3	-15.9	-16.7	-15.9
ESO 103-G35	54.4	0.364	-3.0	0.435	4.2400	2092±313	1182±177	0.565	62.6	-16.0	-17.0	-16.4
MRK 42	100.9	0.983	3.0	0.186	25.900	967±142	786±13	0.813	116.0	-17.1	-17.8	-17.0
NGC 5695	57.7	0.715	3.0	0.506	-3.350	2522±376	1246±186	0.494	66.4	-16.2	-16.9	-16.1
MRK 231	172.7	0.769	5.0	0.510	-27.73	5538±838	2714±411	0.490	198.6	-16.8	-17.9	-17.4
NGC 7674	118.5	0.909	4.0	0.125	55.950	1332±197	1165±172	0.875	136.2	-18.5	-19.0	-17.8
MRK 493	128.3	0.714	3.0	0.200	73.620	1311±197	1049±157	0.800	147.5	-18.3	-19.0	-18.1
NGC 7319	92.2	0.765	4.0	0.406	-33.36	1448±212	860±126	0.594	106.0	-15.5	-16.5	-15.9
MRK 516	116.4	0.833	5.0	0.240	15.050	4089±610	3108±463	0.760	133.8	-16.6	-17.6	-17.0
CGCG 164-019	122.4	0.875	1.0	0.477	17.500	4787±720	2503±376	0.523	140.8	-16.7	-17.8	-17.3
MRK 766	53.0	0.800	1.0	0.692	-66.26	2828±426	873±131	0.309	60.9	-16.8	-17.4	-16.6
NGC 3393	51.2	0.909	1.0	0.310	83.500	2677±399	1846±275	0.690	58.9	-17.5	-18.3	-17.6
MRK 915	98.7	0.300	3.0	0.400	-84.32	2460±366	1476±220	0.600	113.5	-17.0	-17.9	-17.3
NGC 7212	109.1	-	2.0	0.112	70.890	2871±432	2550±384	0.889	125.4	-17.4	-18.2	-17.5
NGC 3227	17.3	0.667	1.0	0.431	26.950	1110±168	632±95	0.569	20.4	-15.7	-16.1	-14.8
NGC 4725	16.5	0.710	2.0	0.085	49.650	831±124	760±114	0.914	18.9	-16.6		
NGC 3516	36.2	0.765	-2.0	0.200	84.530	1387±208	1110±166	0.800	41.6	-17.7	-18.2	-17.3
NGC 7743	23.4	0.867	-1.0	0.000	-81.64	674±102	674±101	1.000	26.9	-16.7		
NGC 4593	36.9	0.744	3.0	0.285	-53.68	1271±194	909±139	0.715	42.4	-17.1	-17.6	-16.7
NGC 7496	22.5	0.909	3.0	0.362	65.600	970±147	619±94	0.638	25.9	-17.1	-17.4	-15.6
NGC 5548	70.3	0.929	0.0	0.225	-20.92	2067±315	1600±244	0.774	80.9	-17.4	-18.0	-17.2
UGC 1214	70.4	1.00	-1.0	0.415	35.290	2382±360	1393±210	0.585	80.9	-17.4	-18.2	-17.5
NGC 5940	139.0	1.00	2.0	0.108	7.9100	1154±178	1030±158	0.892	159.8	-16.4	-16.9	-15.9
NGC 5135	56.1	0.692	2.0	0.138	-88.29	2436±365	2099±315	0.862	64.5	-19.2	-19.7	-18.4
NGC 6814	21.4	0.933	4.0	0.182	-65.47	464±71	379±58	0.817	24.5	-16.2		
NGC 6951	19.5	0.564	4.0	0.300	-31.49	746±112	522±78	0.700	22.4	-17.6	-17.6	
NGC 7469	66.8	0.733	1.0	0.050	77.390	1708±256	1622±243	0.950	76.8	-19.2	-20.2	-19.5
UGC 2456	49.2	0.588	-1.0	0.455	-7.440	2183±327	1189±178	0.545	56.6	-17.4	-17.7	-16.4

Galáxia	D	$b/a(\text{NED})$	T	e	p_a	a	b	b/a	r_{9pix}	M_{500pc}	M_{1000pc}	$M_{(1000-500)pc}$
MRK 334	89.9	0.700	99.0	0.279	21.750	2882±436	2078±315	0.721	103.3	-17.7	-18.4	-17.5
NGC 5256	114.1	-	99.0	0.430	-48.00	3280±496	1866±283	0.569	131.2	-17.6	-18.1	-17.1
MRK 471	140.2	0.667	1.0	0.378	-23.93	7774±1164	4836±724	0.622	161.2	-15.7	-17.0	-16.7
MRK 477	154.5	0.709	-	0.048	46.580	5705±849	5428±808	0.951	177.6	-18.5	-19.2	-18.4
MRK 744	36.6	0.591	1.0	0.229	82.300	734±112	566± 86	0.771	42.1	-16.3		
NGC 5728	38.3	0.581	1.0	0.051	-89.15	1718±260	1630±246	0.949	44.0	-17.6	-18.2	-17.3
NGC 2639	45.6	0.611	1.0	0.490	6.3800	2911±437	1485±223	0.510	52.4	-16.3	-17.3	-16.8
NGC 449	65.3	0.625	-	0.590	-0.350	3195±476	1310±195	0.410	75.1	-16.1	-16.9	-16.1
NGC 3031	3.6	-	2.0	0.266	39.020	151±23	111±17	0.735	4.2			
CIRCINUS	4.0	0.435	3.0	0.500	-40.00	259±39	144±19	0.556	4.7			
NGC 4258	6.8	0.387	4.0	0.530	22.910	445±67	209±31	0.470	8.0			
NGC 3486	7.4	0.732	5.0	0.221	-28.67	347±52	270±41	0.778	8.7			
NGC 4395	3.6	0.833	9.0	0.716	-37.54	183±27	52±8	0.284	4.2			
NGC 5194	7.7	0.616	4.0	0.135	-62.80	554±84	479±72	0.865	9.1	-15.8		
NGC 4565	16.8	0.116	3.0	0.051	-27.82	1095±165	1030±157	0.941	19.3	-14.7	-16.2	-15.9
NGC 6300	14.3	0.667	3.0	0.311	27.510	247±37	170±26	0.688	16.8			
NGC 5033	18.7	0.467	5.0	0.204	40.450	1175±176	935±140	0.796	22.0	-16.1	-16.7	-15.8
NGC 5005	21.3	0.483	4.0	0.195	-85.64	1450±217	1163±175	0.802	25.1	-16.6	-17.2	-16.4
NGC 5273	21.3	0.893	-2.0	0.086	24.550	781±117	714±107	0.914	25.1	-16.0		
IC 4870	9.3	0.563	10.0	0.238	39.620	511±77	390±58	0.763	10.9	-15.4		
NGC 5674	102.1	0.909	5.0	0.537	64.830	5218±783	2413±362	0.462	117.4	-17.1	-17.9	-17.1
NGC 3362	113.3	0.898	5.0	0.289	-30.55	1649±246	1172±175	0.711	130.2	-16.0	-16.7	-16.0
UGC 1395	71.3	0.769	3.0	0.214	45.350	1275±191	1002±150	0.786	82.0	-16.7	-17.0	-15.6
NGC 4939	42.5	0.509	4.0	0.353	57.250	2122±320	1373±207	0.647	48.8	-16.5	-17.0	-16.0
UGC 12138	102.3	0.875	1.0	0.339	38.010	1424±209	954±138	0.670	117.6	-18.0	-18.4	-17.2
UGC 6100	120.8	0.617	1.0	0.148	58.690	6977±1050	5943±895	0.851	138.9	-16.8	-17.7	-16.9

Tabela 4.2: Principais resultados das medidas. As linhas horizontais separam os pares. Col. (1): identificação; Col. (2): distância em Mpc; Col. (3): razão axial da galáxia hospedeira (b/a); Col. (4): parâmetro T; Col. (5): elipticidade ($1 - b/a$); Col. (6): ângulo de posição em graus; Col. (7): semi-eixo maior da emissão em parsecs; Col. (8): semi-eixo menor da emissão em parsecs; Col. (9): razão axial da emissão (b/a); Col. (10): valor em parsecs para a região de influência do máximo central ($r = 9$ pixels); Col. (11): magnitude absoluta em uma região anelar de semi-eixos maiores 200 pc a 500 pc; Col. (12): magnitude absoluta em uma região anelar de semi-eixos maiores 200 pc a 1000 pc; Col. (11): magnitude absoluta em uma região anelar de semi-eixos maiores 500 pc a 1000 pc.

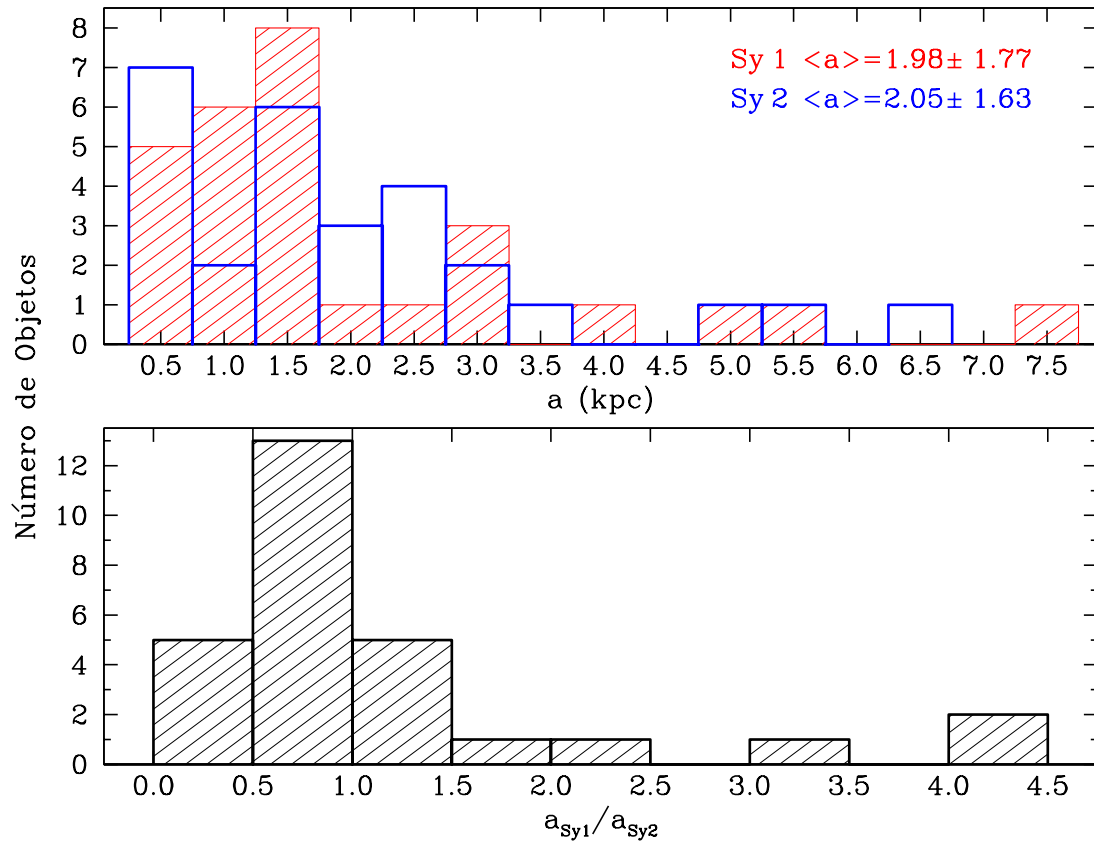


Figura 4.17: Acima: Distribuição dos valores da extensão das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachuriado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto) em kiloparsecs. Abaixo: Distribuição da razão entre a extensão da Seyfert 1 e da Seyfert 2 para cada par.

$Sy1 > Sy2$		$Sy1 < Sy2$	
Par	Fator	Par	Fator
NGC 5273 – IC 4870	1.53	NGC 5940 – NGC 5135	2.13
NGC 3516 – NGC 7743	2.06	MRK 744 – NGC 5728	2.32
NGC 5674 – NGC 3362	3.16	MRK 42 – NGC 5695	2.63
MRK 231 – NGC 7674	4.16	NGC 4395 – NGC 5194	3.03
NGC 4565 – NGC 6300	4.43	UGC 12138 – UGC 6100	4.90

Tabela 4.3: Pares cuja extensão de uma galáxia é maior que a outra por um fator de 1.5. Col.(1): identificação do par em que as galáxias Seyfert 1 estende-se mais que as Seyfert 2; Col.(2): fator que exprime o quão maior a galáxia Seyfert 1 é que a Seyfert 2. Col.(2): identificação do par em que as galáxias Seyfert 2 estende-se mais que as Seyfert 1; Col.(4): fator que exprime o quão maior a galáxia Seyfert 2 é que a Seyfert 1 .

4.3.2 Elipticidade

A figura 4.18 mostra a distribuição dos valores de elipticidade e da emissão para a amostra de Seyfert 1–1.9 e para a de Seyfert 2, bem como a diferença entre os valores de e das galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 de cada par. A distribuição de e para as galáxias Seyfert 1 parece definir dois grupos: um contendo dezesseis objetos com $e_{Sy1} < 0.30$ e outro contendo dez com $e_{Sy1} > 0.40$. Dois objetos estão na situação intermediária com $0.30 < e_{Sy1} < 0.40$. Na média, as galáxias Seyfert 1 têm $\langle e_{Sy1} \rangle = 0.32 \pm 0.18$ e o valor mediano é 0.27. Para as galáxias Seyfert 2 temos uma distribuição mais homogênea, com um valor médio de $\langle e_{Sy2} \rangle = 0.28 \pm 0.17$ e valor mediano 0.29.

A média da diferença entre os valores de elipticidade de galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 de cada par é $\langle \Delta e \rangle = \pm 0.04 \pm 0.27$ e o valor mediano -0.02 . Apesar do valor médio baixo, indicando que as galáxias do mesmo par possuem elipticidades semelhantes, a dispersão é alta. Esta alta dispersão fica óbvia na figura 4.18, onde é notável o espalhamento dos pares em torno do valor zero: treze pares possuem $\Delta e > 0$ ($e_{Sy1} > e_{Sy2}$) e quinze pares possuem $\Delta e < 0$ ($e_{Sy1} < e_{Sy2}$). Portanto, a essa distribuição mostra que não há uma preferência sistemática de um tipo particular de Seyfert ser mais elíptico que outro.

Verificamos se a razão axial da emissão possuía alguma correlação com a razão axial da galáxia hospedeira. A figura 4.19 mostra no eixo vertical a razão axial da galáxia e no eixo horizontal a da emissão ultravioleta. Os triângulos vermelhos correspondem aos valores das galáxias Seyfert 1 e os quadrados azuis aos valores das galáxias Seyfert 2. Aparentemente não há nenhuma correlação, o que mais uma vez indica que a emissão ultravioleta não parece estar relacionada às propriedades da galáxia hospedeira.

A tabela 4.5 apresenta os valores médios, desvios e valores medianos para a extensão e elipticidade da emissão UV das galáxias da amostra, bem como para a razão entre os valores de extensão e diferença de elipticidade para as galáxias do par.

	Extensão máxima			Elipticidade		
	Média	σ	Mediana	Média	σ	Mediana
Sy1	1977 pc	1771 pc	1300 pc	0.32	0.18	0.27
Sy2	2053 pc	1627 pc	1683 pc	0.28	0.17	0.29
Sy1 vs. Sy2	1.21	1.05	0.86	0.04	0.27	-0.02

Tabela 4.4: Valores médios, dispersão e valores medianos da extensão máxima e da elipticidade para as galáxias Seyfert 1 (linha 1), Seyfert 2 (linha 2) e comparativos (linha 3) – razão dos valores das galáxias Seyfert 1 por Seyfert 2 para a extensão e diferença entre os valores das galáxias Seyfert 1 menos Seyfert 2 para elipticidade.

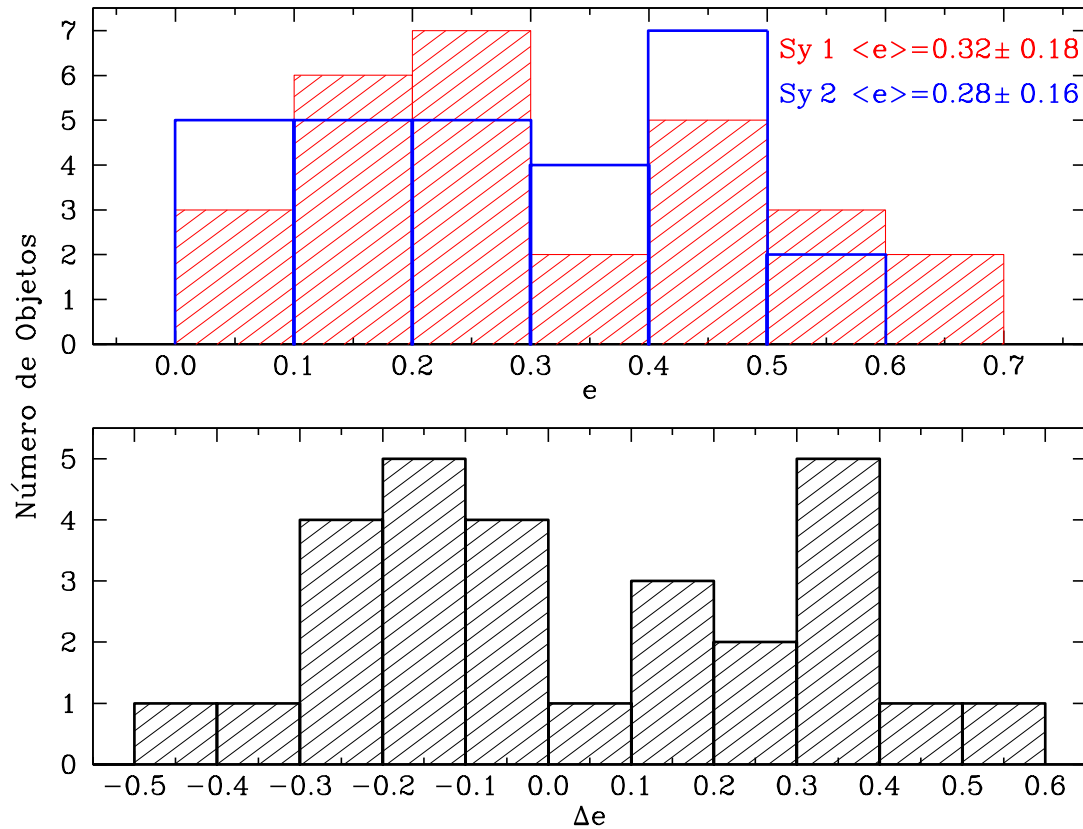


Figura 4.18: Acima: Distribuição da elipticidade das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachurado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da diferença entre os valores de elipticidade das galáxias Seyfert 1 e das galáxias Seyfert 2 de cada par.

4.4 Fotometria

4.4.1 Perfis de brilho superficial

A partir da fotometria em anéis elípticos, foram construídos perfis de brilho superficial μ para cada galáxia. A figura 4.20 mostra estes perfis para todas as galáxias da amostra. O eixo vertical de cada quadro mostra o brilho superficial e o eixo horizontal o valor do semi-eixo maior em segundos de arco da elipse mais externa do “anel elíptico” em que foi computado o brilho superficial. Cada quadro da figura mostra os perfis de brilho de cada par onde a curva em vermelho tracejado é o perfil de brilho superficial da galáxia Seyfert 1–1.9 e a curva em azul com a linha contínua é o perfil de brilho superficial da galáxia Seyfert 2 do par. Os perfis começam em $0''.24$ – valor em segundos de arco correspondente à região circular de raio $r = 9$ pixels – e estendem-se até o valor da última abertura medida.

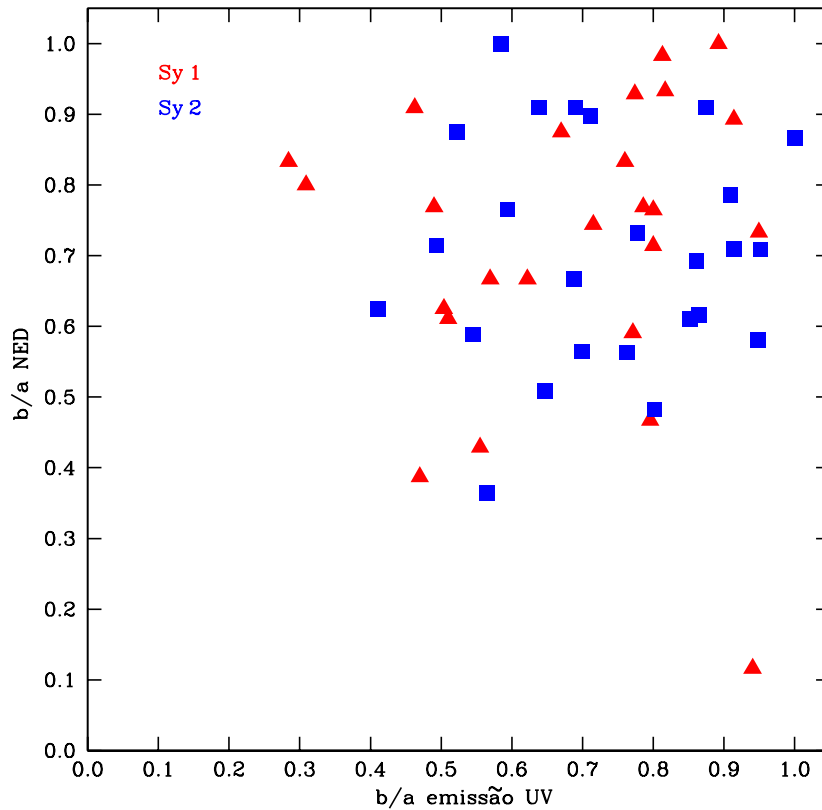


Figura 4.19: Razão axial da galáxia versus a razão axial da emissão ultravioleta. Os triângulos vermelhos são os valores das galáxias Seyfert 1 e os quadrados azuis os valores das galáxias Seyfert 2.

Como o critério escolhido para o tamanho das aberturas fotométricas baseou-se em tamanhos físicos e não angulares, para alguns pares muito próximos como NGC 303–CIRCINUS, NGC 4258–NGC 3486, NGC 4395–NGC 5194 e NGC 4565–NGC 6300 a fotometria foi executada em apenas duas ou três aberturas e portanto há poucos pontos nos perfis dessas galáxias nos quadros da figura 4.20. Alguns pares têm perfis muito parecidos, como MRK 516–CGCG 164-019, MRK 915–NGC 7212, NGC 5033–NGC 5005 e NGC 5548–UGC 1214, enquanto que outros são diferentes, mesmo tendo suas extensões máximas similares, como MRK 493–NGC 7319 e MRK 6–ESO137-G34. Para treze pares, as galáxias Seyfert 1 são mais brilhantes em $r = 0''.243$ que as galáxias Seyfert 2 do mesmo par. Para dez pares, temos a situação inversa: as galáxias Seyfert 2 são mais brilhantes em $r = 0''.243$ que as galáxias Seyfert 1 pertencente ao mesmo par. Cinco pares têm a mesma intensidade nessa região. Pode-se concluir então que, após a subtração da PSF não há relação sistemática entre o brilho superficial central e o tipo Seyfert: o número de Seyfert 1 com

brilho superficial central mais alto que de Seyfert 2 é semelhante ao número de Seyfert 2 com brilho superficial mais alto que de Seyfert 1.

Para melhor comparar os perfis de todas as galáxias, construímos uma outra versão da figura 4.20. Os quadros da figura 4.25 também mostram os perfis de brilho superficial dos pares, mas em função do semi-eixo maior das aberturas em parsecs, e não mais em segundos de arco. Para permitir uma comparação entre as galáxias, as escalas do eixo x e y foram mantidas iguais em todos os quadros. Como nestes quadros também queríamos excluir a região menor que $r = 9$ pixels, as distâncias no eixo horizontal começam em $a \sim 200$ pc – maior valor em parsecs para $r = 9$ – e estendem-se até $a \sim 1000$ pc. Escolhemos amostrar o kiloparsec central pois é aproximadamente dentro desta distância que se encontram estruturas circumnucleares relevantes para o nosso estudo como por exemplo anéis de formação estelar e emissão espalhada do núcleo Seyfert. Enquanto que o nosso objetivo com a figura 4.20 é ilustrar todas as medidas fotométricas realizadas, nosso objetivo com a figura 4.25 é de proporcionar uma comparação entre todas as galáxias. Para alguns pares com poucas medidas de aberturas fotométricas, citados acima, os perfis aparecem pouco concentrados ou sequer aparecem na figura 4.20.

Para identificar diferenças entre os perfis das galáxias de diferentes atividade, construímos um perfil médio de brilho superficial para as galáxias Seyfert 1–1.9 e Seyfert 2 que estão apresentados na figura 4.30. Esse média foi feita com todas as galáxias cuja extensão máxima era ≥ 1000 pc. A linha vermelha tracejada representa a média para as galáxias Seyfert 1–1.9 e a linha azul contínua é a média para as galáxias Seyfert 2. As barras de dispersão indicam que na média, os perfis de Seyfert 1–1.9 e Seyfert 2 são muito parecidos. Fizemos também perfis médios para as galáxias classificadas como Seyfert 1–1.5 e para as classificadas como Seyfert 1.8–1.9. Esses perfis estão mostrados na figura 4.31: a linha magenta pontilhada-tracejada mostra a média para Seyfert 1–1.5 e a linha preta pontilhada para Seyfert 1.8–1.9. Nesta figura também mostramos os perfis médios apresentados na figura 4.30. Comparando os perfis médios observamos um excesso de brilho superficial nas galáxias Seyfert 1–1.5 em relação as galáxias Seyfert 2 na região compreendida entre ~ 350 pc e ~ 750 pc. O perfil médio das galáxias classificadas como Seyfert 1.8–1.9 é um pouco menos “brilhante” que os demais tipos, porém devido a pequena quantidade de objetos utilizados para fazer a média, a dispersão é grande, tornando difícil obter uma conclusão mais robusta.

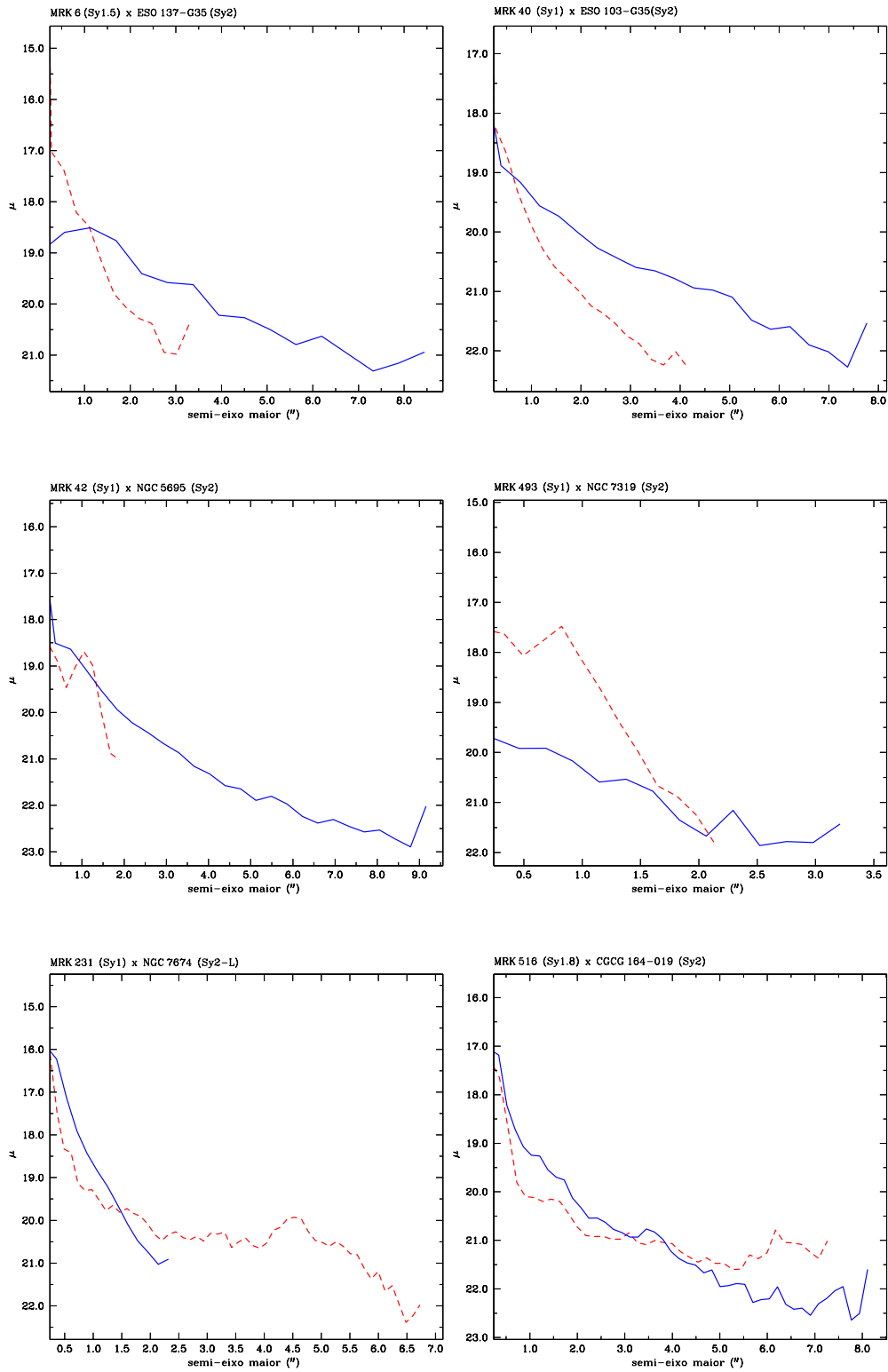


Figura 4.20: Amostragem dos perfis completos. Linha vermelha tracejada: galáxias Seyfert 1-1.9. Linha azul contínua: galáxias Seyfert 2.

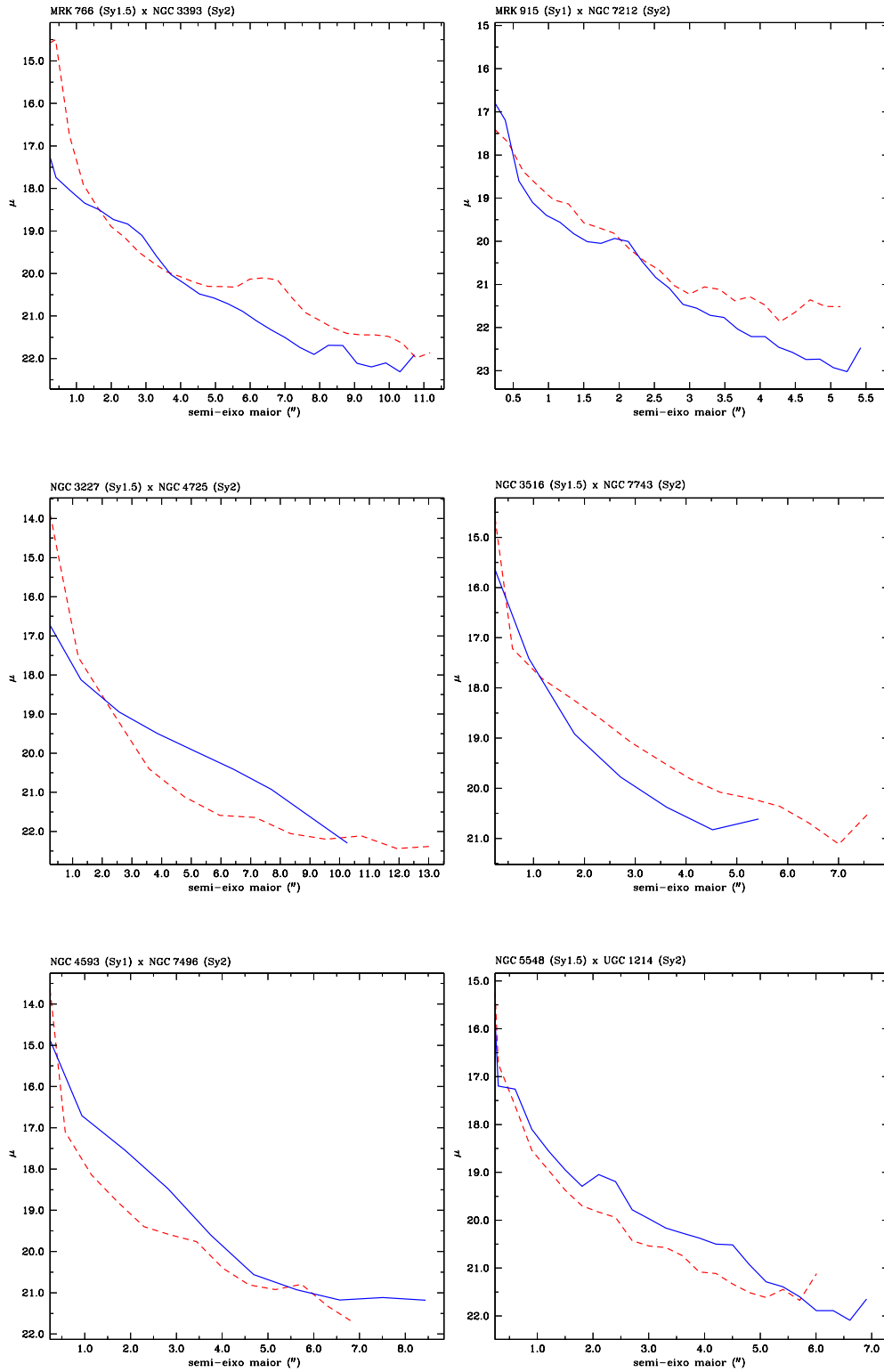


Figura 4.21: Continuação da figura 4.20

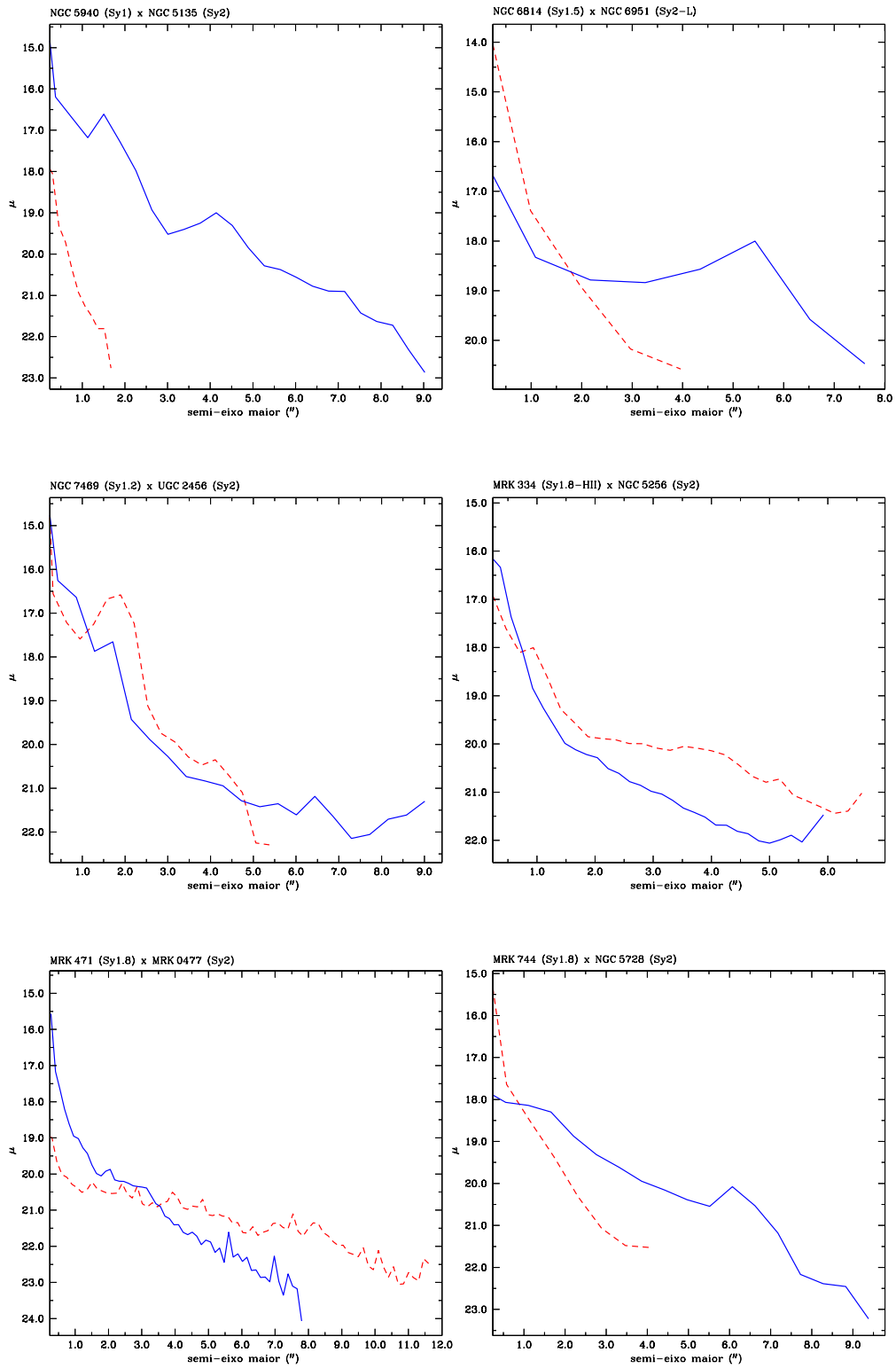


Figura 4.22: Continuação da figura 4.20

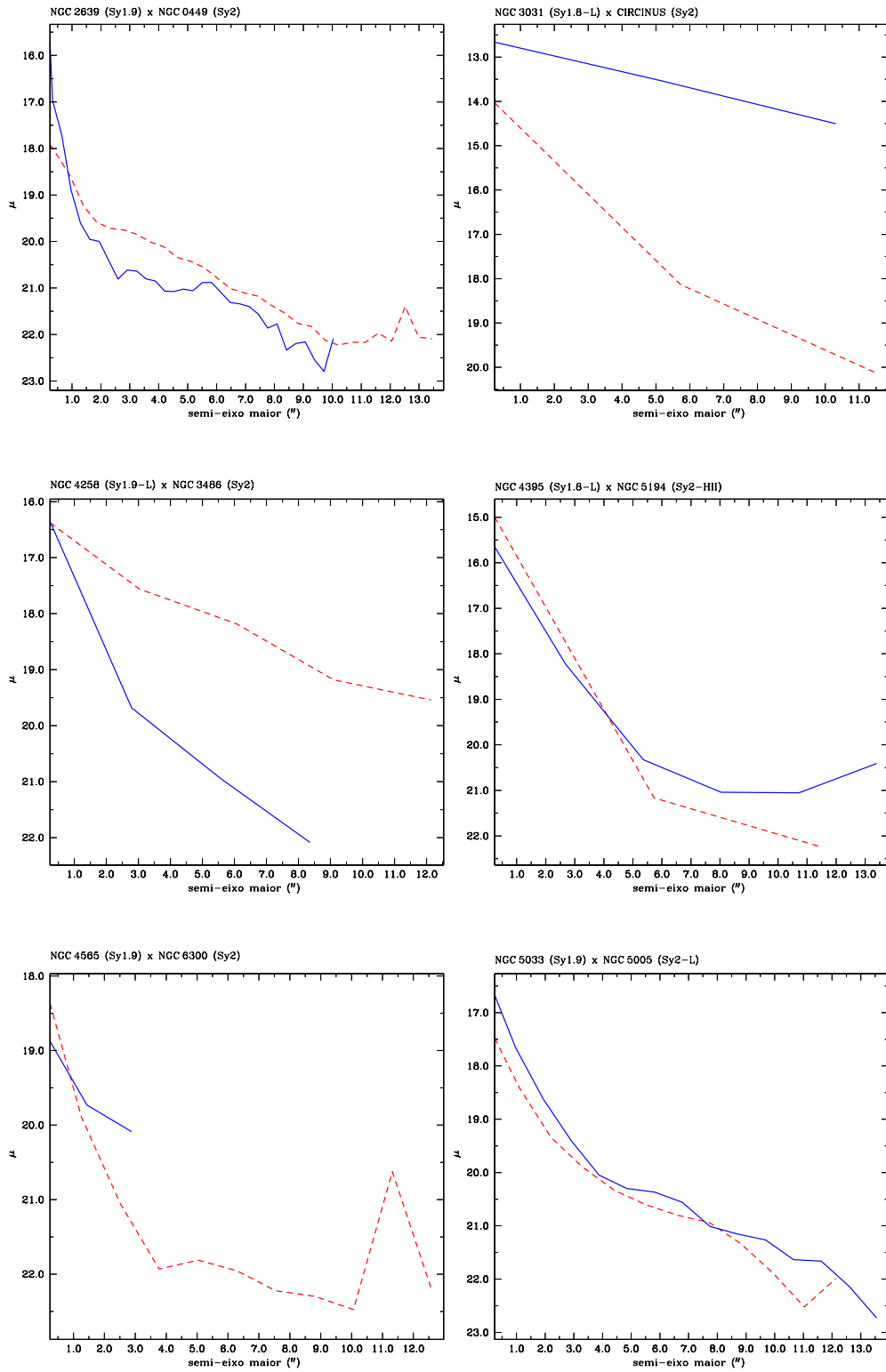


Figura 4.23: Continuação da figura 4.20

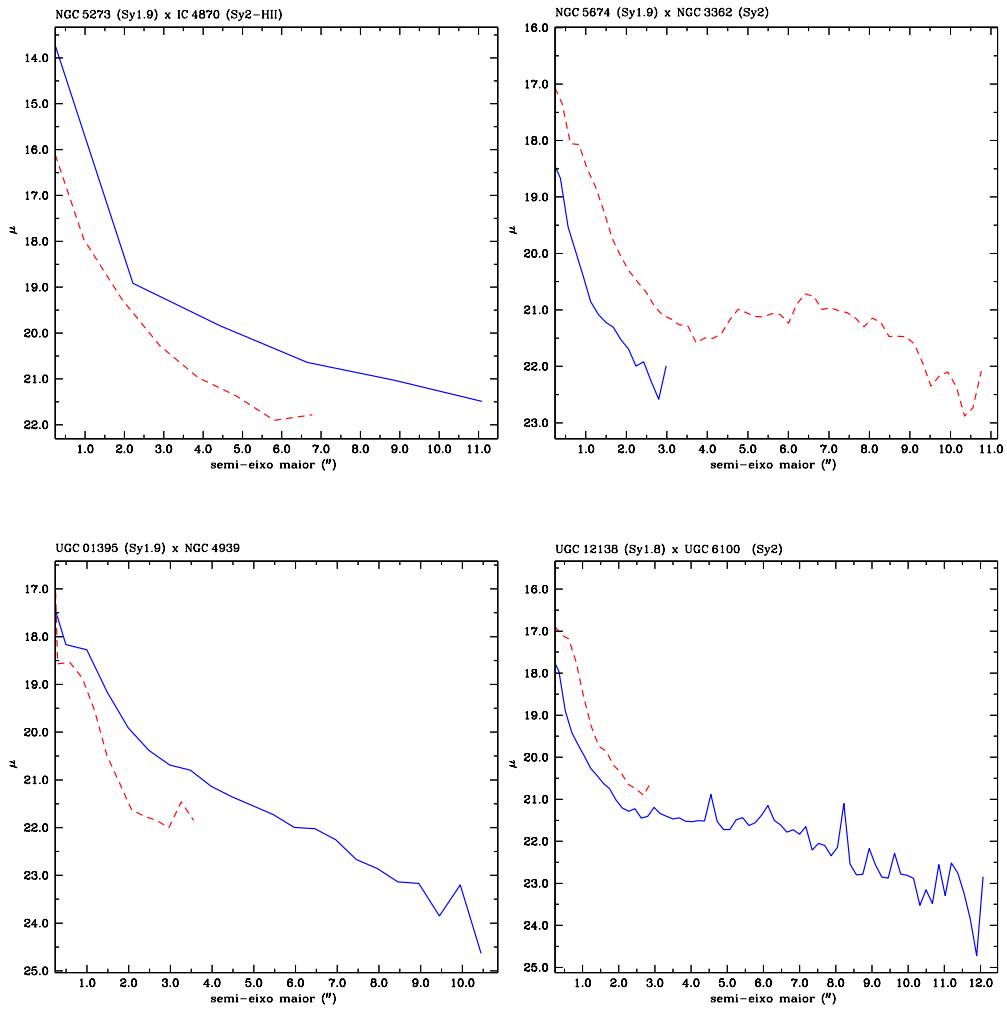


Figura 4.24: Continuação da figura 4.20

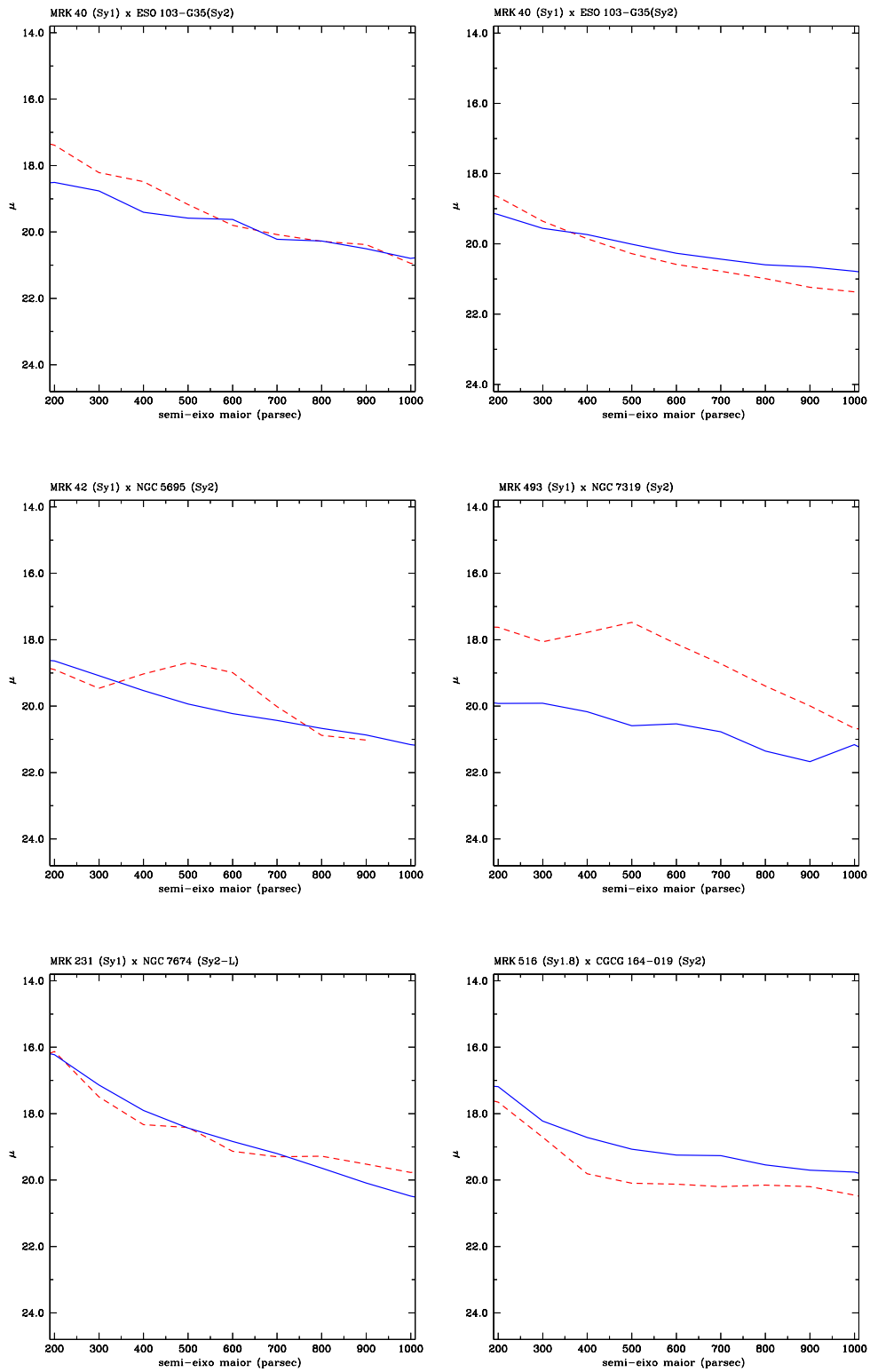


Figura 4.25: Amostragem do kiloparsec central. Linha vermelha tracejada: galáxias Seyfert 1-1.9. Linha azul contínua: galáxias Seyfert 2.

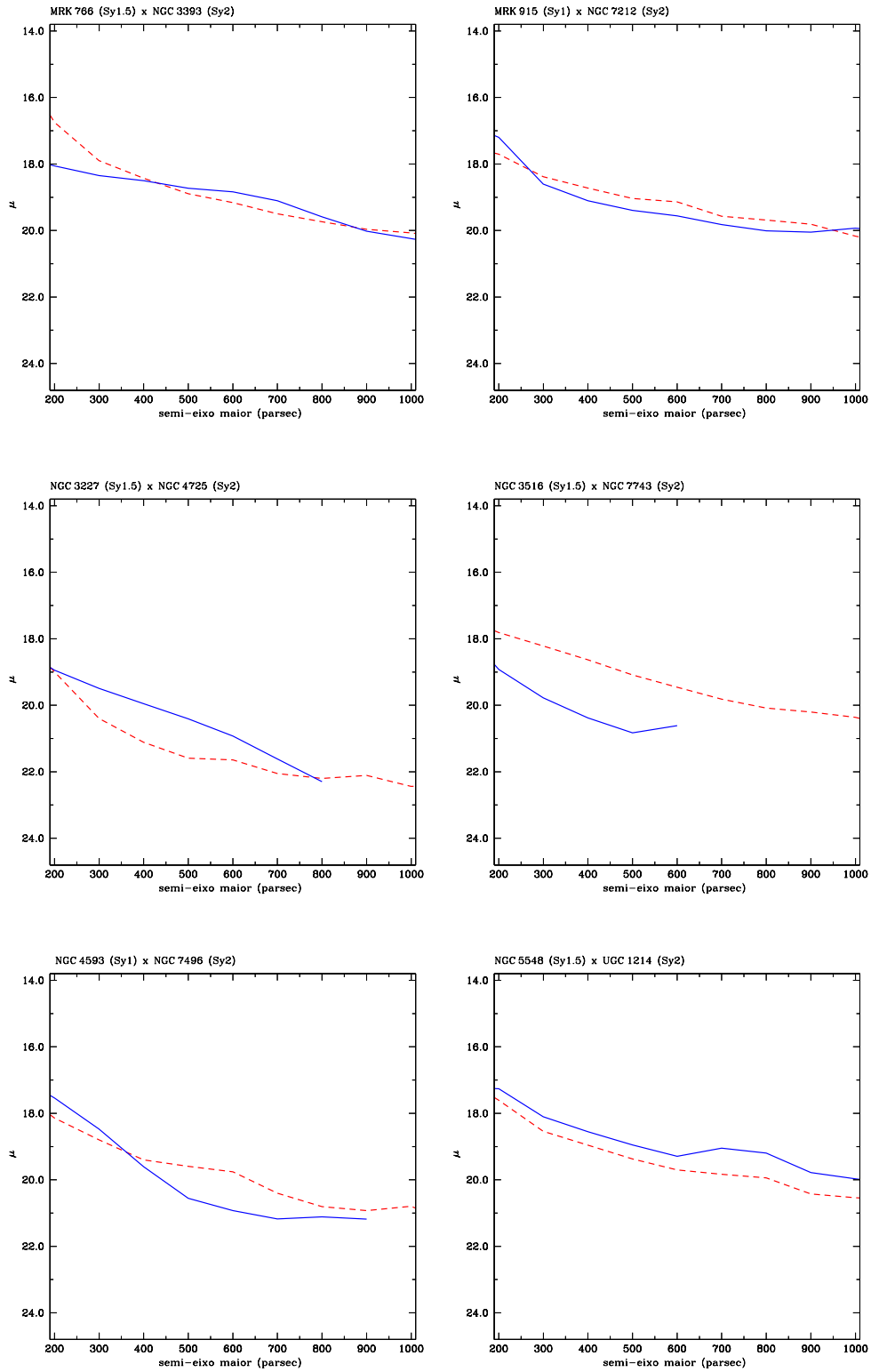


Figura 4.26: Continuação da figura 4.25

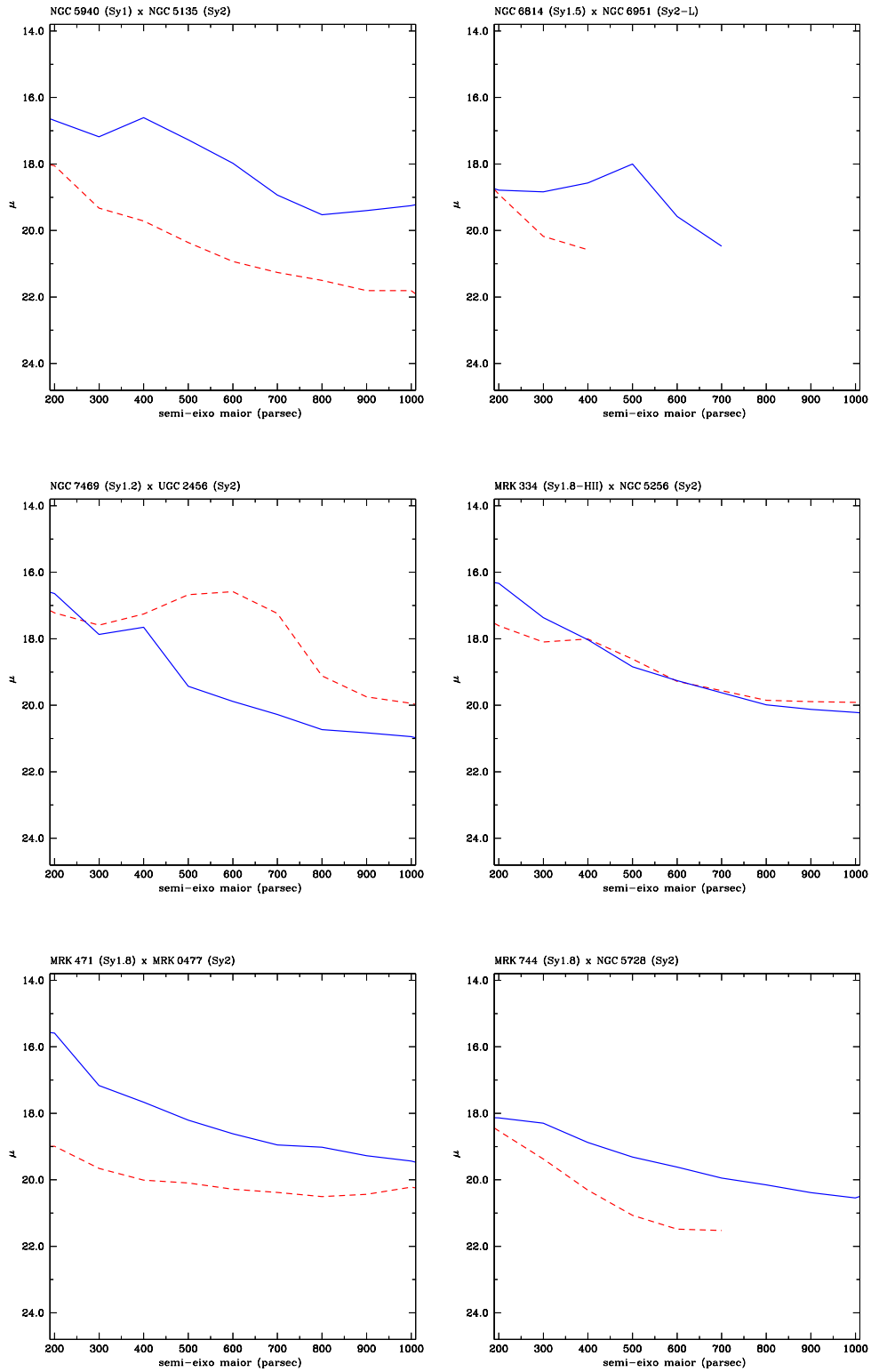


Figura 4.27: Continuação da figura 4.25

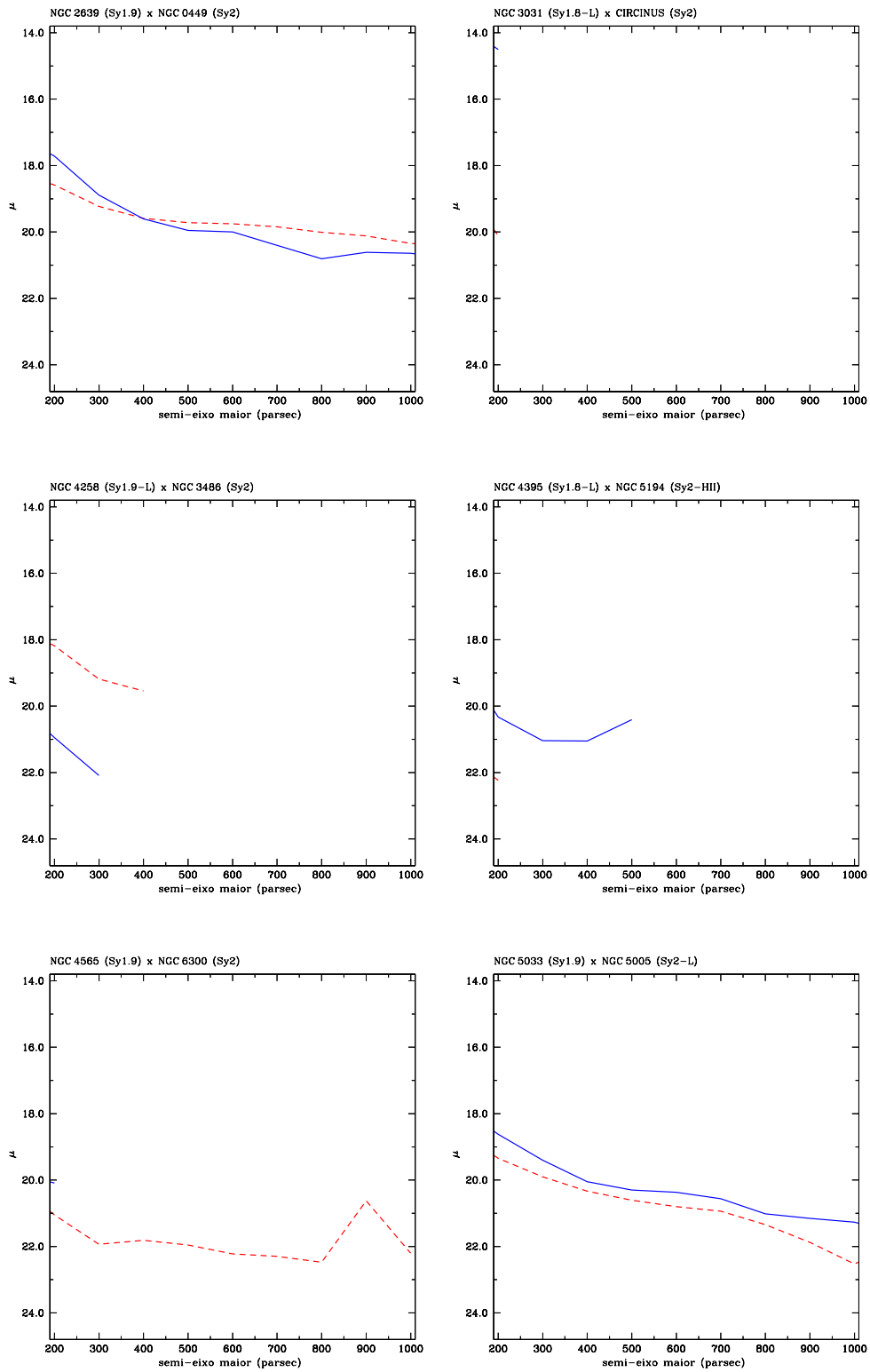


Figura 4.28: Continuação da figura 4.25

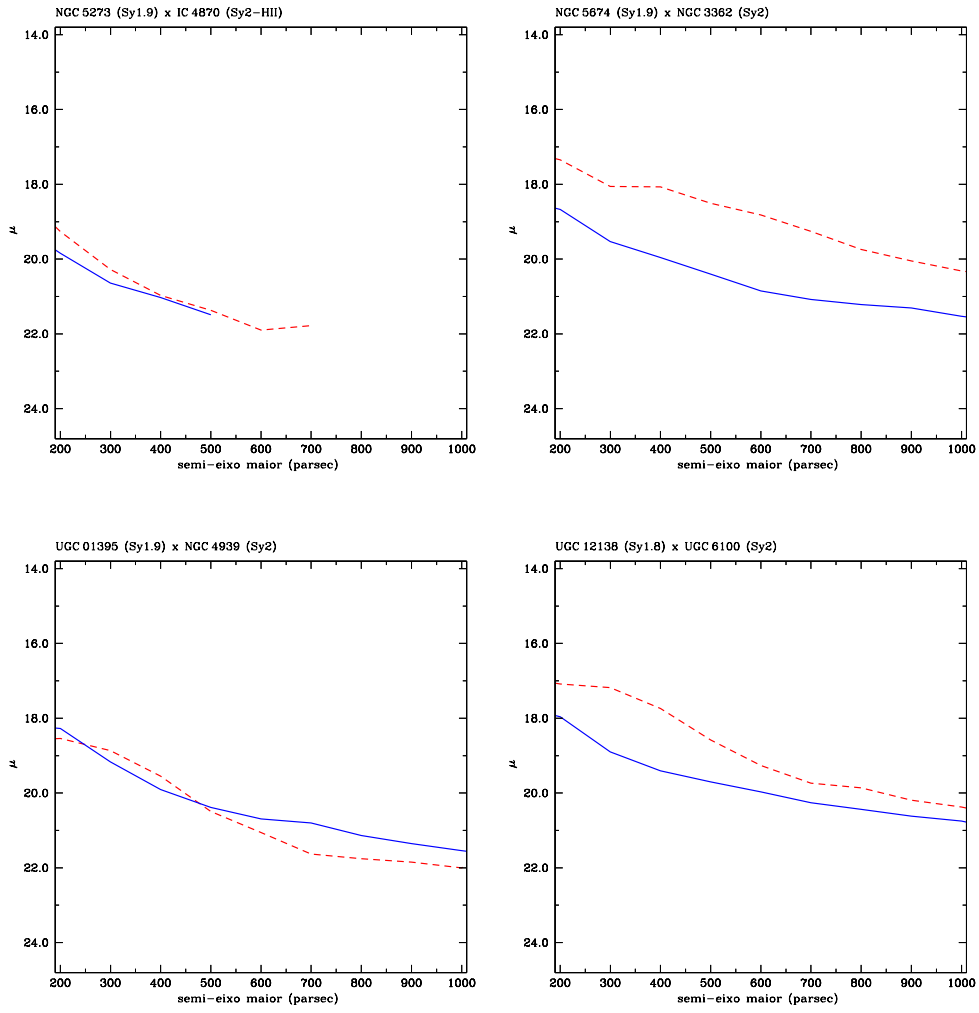


Figura 4.29: Continuação da figura 4.25

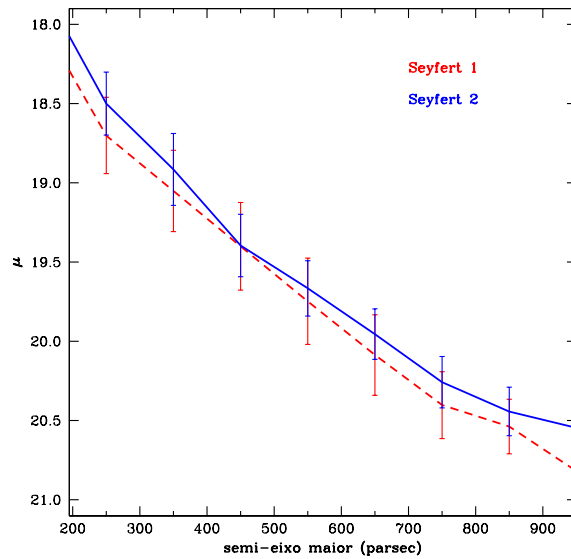


Figura 4.30: Perfil de brilho superficial médio. Linha vermelha tracejada: perfil médio das galáxias Seyfert 1. Linha azul contínua: perfil médio das galáxias Seyfert 2. As barras verticais representam a dispersão dos valores em torno da média.

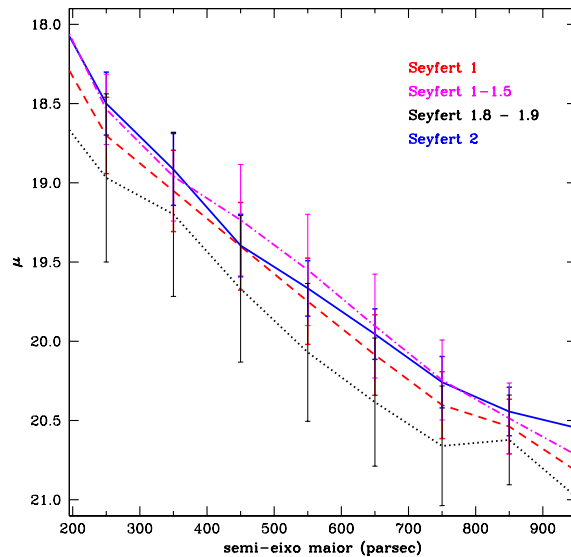


Figura 4.31: Perfil de brilho superficial médio. Linha magenta pontilhada-tracejada: perfil médio das galáxias Seyfert 1 – 1.5. Linha preta pontilhada: perfil médio das galáxias Seyfert 1.8 – 1.9. Para comparação, os perfis da figura 4.30 também estão desenhados. As barras verticais representam a dispersão dos valores em torno da média.

4.4.2 Magnitudes integradas nas regiões: 200–500 pc, 200–1000 pc e 500–1000 pc

A figura 4.32 mostra a distribuição de magnitudes para um anel de raio interno 200 pc e externo 500 pc e a distribuição da diferença de magnitudes nessa região entre as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 do mesmo par. Somente os pares para os quais ambas galáxias estendiam-se pelo menos até 500 pc foram incluídos na distribuição, totalizando 24 pares (os pares excluídos foram: NGC 3031–CIRCINUS, NGC 4258–NGC 3486, NGC 4395–NGC 5194, NGC 4565–NGC 6300). A distribuição das galáxias Seyfert 1 tem dois picos centrados em -16.25 e -17.25 . Na média $\langle M_{500pc, Sy1} \rangle = -16.90 \mp 0.87$ e o valor mediano é -16.79 . A distribuição das galáxias Seyfert 2 também possui um máximo em -17.25 . Na média $\langle M_{500pc, Sy2} \rangle = -17.01 \mp 0.94$ e o valor mediano -16.99 . Em ambos tipos de atividade, o valor absoluto da dispersão é menor que uma magnitude, e os valores médios e medianos são próximos. Ao fazer a média da diferença entre as magnitudes das Seyfert 1 menos Seyfert 2 do mesmo par obtemos valor é $\langle \Delta M_{500pc} \rangle = 0.12 \mp 1.33$ e a mediana é 0.07 , confirmamos que praticamente não existe diferença na intensidade da emissão desta região entre os dois tipos de atividade. A própria distribuição da diferença mostra-se bem simétrica. Nos extremos da distribuição da diferença temos pares: MRK 493–NGC 7319 ($\Delta M_{500pc} = -2.81$); NGC 7469–UGC 2456 ($\Delta M_{500pc} = -1.84$); UGC 12138–UGC 6100 ($\Delta M_{500pc} = -1.20$); NGC 5674–NGC 3362 ($\Delta M_{500pc} = -1.14$); MRK 744–NGC 5728 ($\Delta M_{500pc} = 1.12$); NGC 6814–NGC 6951 ($\Delta M_{500pc} = 1.37$); MRK 231–NGC 7674 ($\Delta M_{500pc} = 1.69$); MRK 471–MRK 477 ($\Delta M_{500pc} = 2.86$) e NGC 5940–NGC 5135 ($\Delta M_{500pc} = 2.88$). Então para cinco pares $M_{500pc, Sy1} < M_{500pc, Sy2}$, ou seja, a Seyfert 1 é mais brilhante diferindo da Seyfert 2 por mais de uma magnitude, e para outros cinco pares $M_{500pc, Sy1} > M_{500pc, Sy2}$, a Seyfert 2 é mais brilhante diferindo da Seyfert 1 por mais de uma magnitude.

A figura 4.33 mostra a distribuição de magnitudes para um outro anel de raio interno 200 pc e externo 1000 pc e a distribuição da diferença de magnitudes entre as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 do mesmo par nessa região. Somente os pares para os quais ambas galáxias estendiam-se pelo menos até 1000 pc foram incluídos na distribuição totalizando 19 pares. Além dos quatro pares que foram excluídos da distribuição da figura 4.32 também ficaram de fora desta distribuição os pares: NGC 3227–NGC 4725, NGC 3516–NGC 7743, NGC 6814–NGC 6951, NGC 4565–NGC 6300 e NGC 5273–IC 4870. A distribuição das galáxias Seyfert 1 apresenta um pico em -17.75 e as galáxias Seyfert 2 não apresentam um pico preferencial. Na média $\langle M_{1000pc, Sy1} \rangle = -17.76 \mp 0.84$ e o valor mediano é -17.65 . Para as galáxias Seyfert 2 a média é $\langle M_{1000pc, Sy2} \rangle = -17.76 \mp 0.88$ e o valor mediano -17.75 . Encontramos mais uma vez valores de dispersão baixos frente a média para os diferentes tipos de atividade e valores medianos próximos da média. Nesta região galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 possuem os mesmos valores médios de magnitude e dispersões praticamente iguais. Ao fazer a média da diferença entre as magnitudes das Seyfert 1 menos Seyfert 2 do mesmo

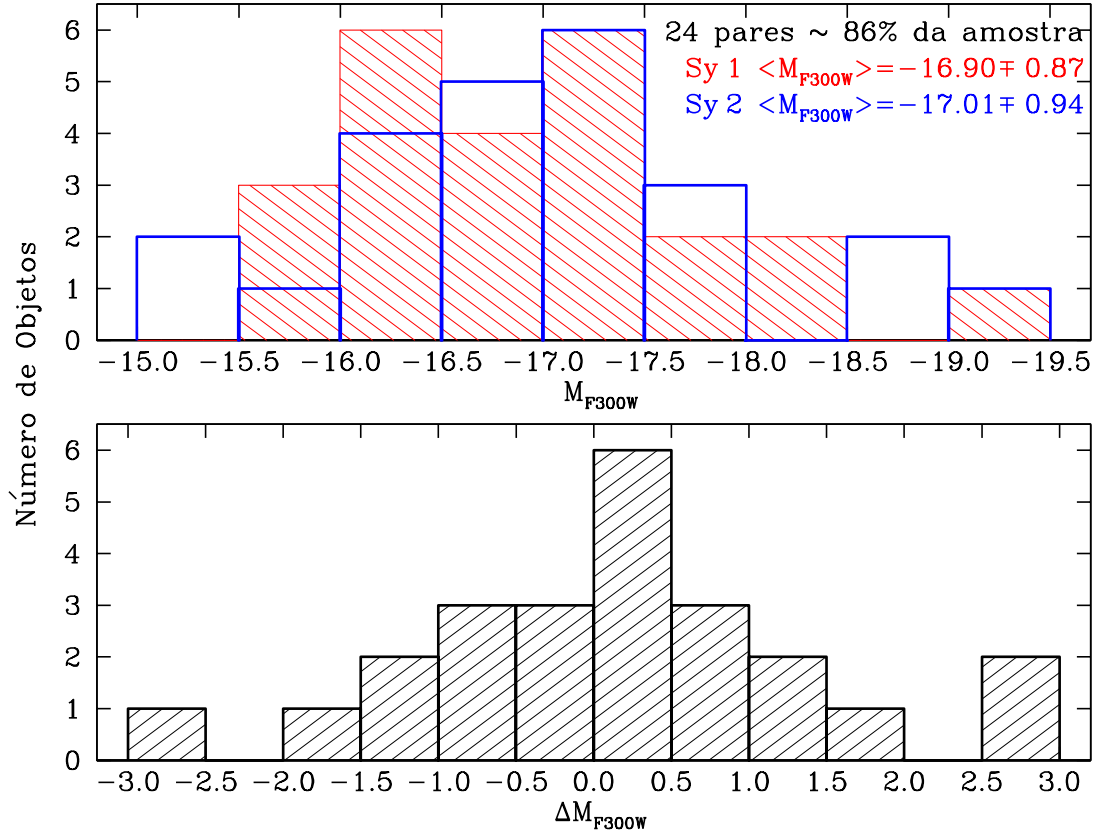


Figura 4.32: Acima: Distribuição de magnitudes absoluta em uma região de 200 – 500 pc das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachuriado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da diferença entre os valores de magnitude nesta região das galáxias Seyfert 1 e das galáxias Seyfert 2 de cada par.

par, cujo valor é $\langle \Delta M_{1000pc} \rangle = 0.00 \mp 1.29$ e a mediana é 0.18, confirmamos a similaridade dos pares na região de que estende-se de 200 – 1000 pc. A distribuição da diferença mostra-se mais uma vez bem simétrica. Nos extremos da distribuição, com diferenças em valores absolutos maiores que a unidade, estão os pares: MRK 493–NGC 7319 ($\Delta M_{1000pc} = -2.50$); NGC 7469–UGC 2456 ($\Delta M_{1000pc} = -2.41$); NGC 5674–NGC 3362 ($\Delta M_{1000pc} = -1.14$); MRK 231–NGC 7674 ($\Delta M_{1000pc} = 1.09$); MRK 471–MRK 477 ($\Delta M_{1000pc} = 2.19$) e NGC 5940–NGC 5135 ($\Delta M_{1000pc} = 2.74$). Todos esses pares também estavam localizados nos extremos da distribuição da figura 4.32, e mais uma vez encontramos um resultado simétrico para estes extremos: três pares têm $M_{1000pc,Sy1} < M_{1000pc,Sy2}$, ou seja, a galáxia Seyfert 1 é mais brilhante que a Seyfert 2, e três pares $M_{1000pc,Sy1} > M_{1000pc,Sy2}$, ou seja, a galáxia Seyfert 2 é mais brilhante.

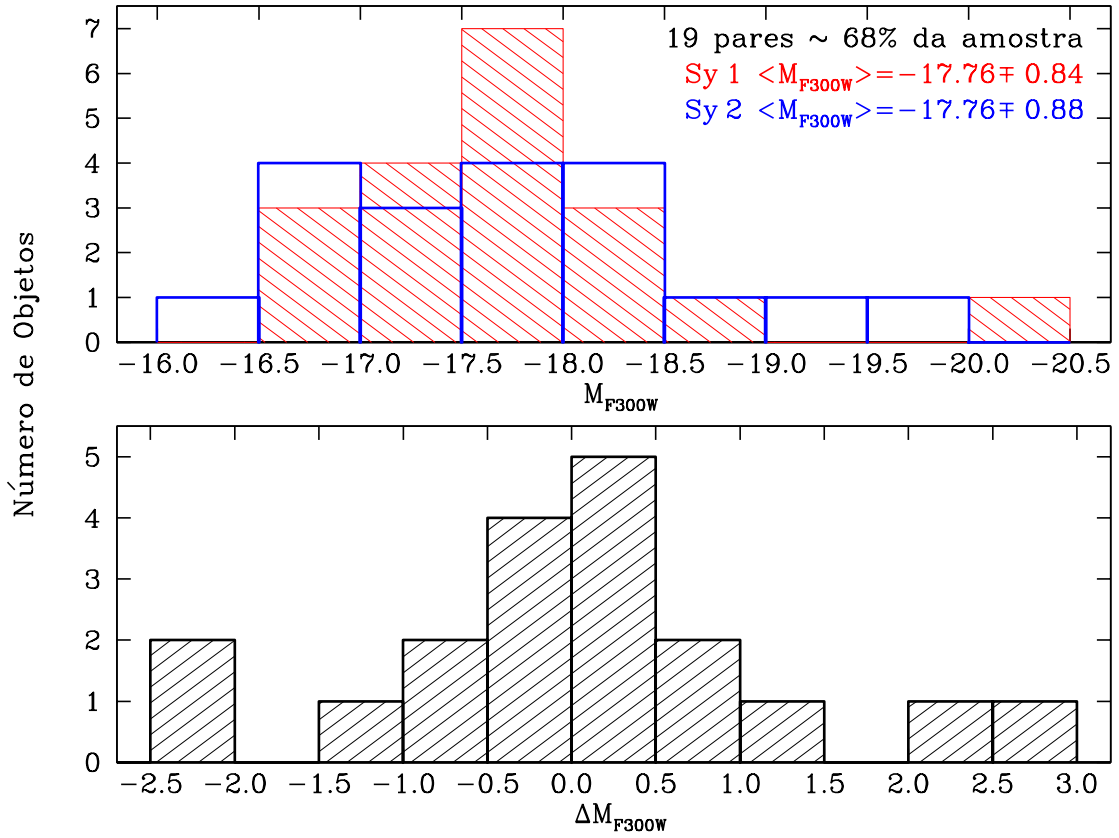


Figura 4.33: Acima: Distribuição de magnitude absoluta em uma região de 200 – 1000 pc das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachurado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da diferença entre os valores de magnitude nesta região das galáxias Seyfert 1 e das galáxias Seyfert 2 de cada par.

Para verificar por possíveis diferenças de magnitude nas regiões entre 500 pc e 1000 pc fizemos a distribuição da figura 4.34, que na parte superior mostra a distribuição de magnitude para essas regiões e na parte inferior a distribuição da diferença de magnitudes entre as galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 do mesmo par. Os mesmos pares que foram excluídos para gerar a distribuição da figura 4.33 também foram excluídos desta distribuição por não estenderem-se até 1000 pc. Na média $\langle M_{(1000-500)pc,Sy1} \rangle = -16.94 \mp 0.90$ e o valor mediano é -16.98 . Para as galáxias Seyfert 2 a média é $\langle M_{(1000-500)pc,Sy2} \rangle = -16.89 \pm 0.87$ e a mediana é -16.96 . A tendência dos valores baixos de dispersão frente a média para os diferentes tipos de atividade e valores medianos próximos da média é novamente encontrada, e mais uma vez galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2 valores médios, medianos e dispersões praticamente iguais. A média da diferença entre as magnitude das Seyfert 1 menos Seyfert 2 do mesmo par é $\langle \Delta M_{(1000-500)pc} \rangle = -0.06 \mp 1.30$ e o valor mediano é 0.31, ou seja, na

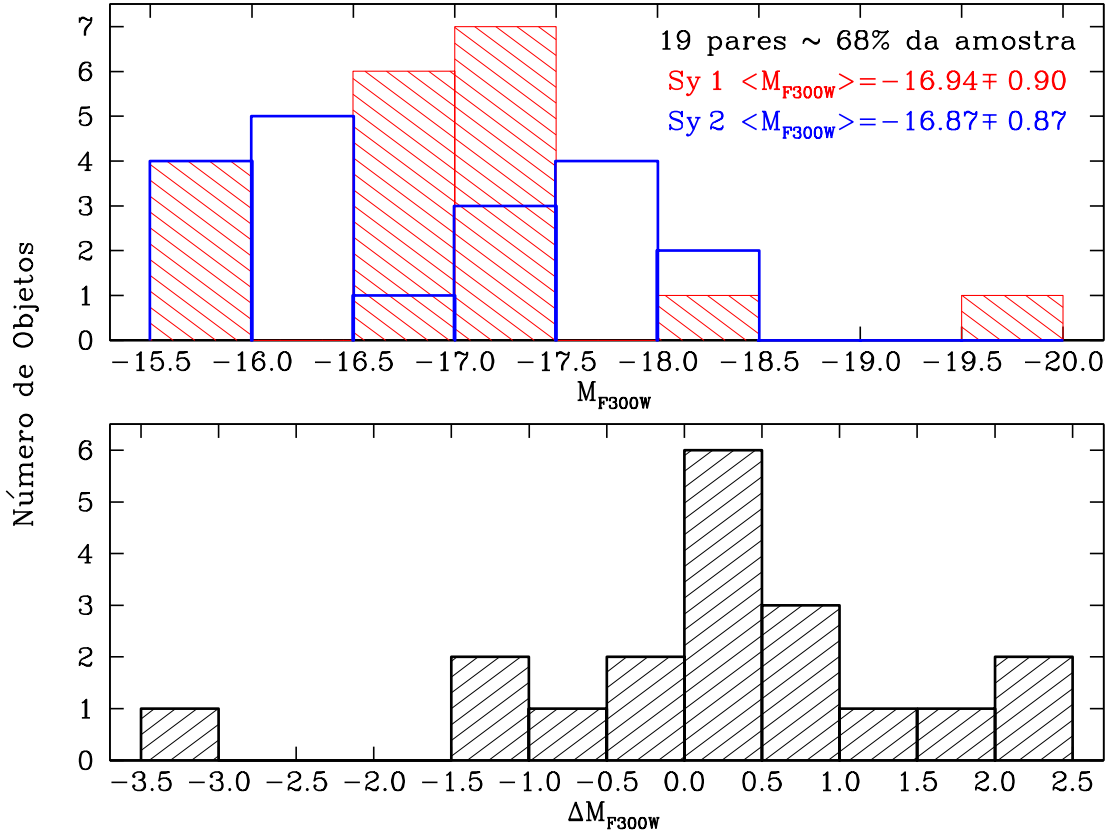


Figura 4.34: Acima: Distribuição de magnitudes absoluta em uma região de 500 – 1000 pc das galáxias Seyfert 1 (vermelho hachuriado) e das galáxias Seyfert 2 (azul aberto). Abaixo: Distribuição da diferença entre os valores de magnitude nesta região das galáxias Seyfert 1 e das galáxias Seyfert 2 de cada par.

região de que se estende de 500 – 1000 pc os pares têm intensidade praticamente iguais. A distribuição da diferença mostra-se bem simétrica. Nos extremos da distribuição, com diferenças em valores absolutos maiores que a unidade, estão os pares: NGC 7469–UGC 2456 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = -3.19$); MRK 493–NGC 7319 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = -2.21$); NGC 5674–NGC 3362 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = -1.14$); NGC 4593–NGC 7496 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = -1.03$); MRK 766–NGC 3393 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = 1.04$); MRK 471–MRK 477 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = 1.74$) e NGC 5940–NGC 5135 ($\Delta M_{(1000-500)pc} = 2.48$). Os pares NGC 4593–NGC 7496 e MRK 766–NGC 3393 não apresentavam valores de diferença maiores que a unidade nas distribuições descritas acima, entretanto seus valores absolutos para esta distribuição estão muito próximos da unidade. Todos os demais mantiveram a diferença nas três distribuições. Quatro pares têm $M_{(1000-500)pc, Sy1} < M_{(1000-500)pc, Sy2}$, ou seja, a galáxia Seyfert 1 é mais brilhante que

a Seyfert 2, e três têm pares $M_{(1000-500)pc,Sy1} > M_{(1000-500)pc,Sy2}$, ou seja, a galáxia Seyfert 2 é mais brilhante.

A tabela 4.5 mostra os principais resultados da fotometria em termos de valores médio, dispersões e valores medianos das magnitudes absolutas encontradas para as regiões 200 – 500 pc, 200 – 1000 pc e 500 – 1000 pc. Podemos concluir que para todos os anéis estudados não há diferença entre as magnitudes da região circumnuclear das galáxias de diferentes tipos de atividade.

	M_{500pc}			M_{1000pc}			$M_{(1000-500)pc}$		
	Média	σ	Mediana	Média	σ	Mediana	Média	σ	Mediana
Sy1	-16.90	0.87	-16.79	-17.76	0.84	-17.65	-16.94	0.90	-16.98
Sy2	-17.01	0.94	-16.99	-17.76	0.88	-17.75	-16.88	0.87	-16.96
Sy1 vs. Sy2	0.12	1.33	0.07	0.00	1.29	0.18	-0.06	1.30	0.31

Tabela 4.5: Valores médios, dispersão e valores medianos das magnitudes nas regiões 200 – 500 pc, 200 – 1000 pc e 500 – 1000 pc para as galáxias Seyfert 1 (linha 1), Seyfert 2 (linha 2) e comparativos (linha 3) – diferença entre os valores das galáxias Seyfert 1 menos Seyfert 2.

Capítulo 5

Conclusões

Neste capítulo resumimos e discutimos os principais resultados do trabalho na seção 5.1, destacamos a relevância e os aspectos originais na seção 5.2 e descrevemos as perspectivas na seção 5.3.

5.1 Principais resultados

5.1.1 Subtração da PSF

- Método eficiente de subtração da PSF: Após a subtração da PSF, estruturas que estavam ofuscadas pela fonte central como anéis de formação estelar, espirais, nós, emissão difusa, etc. foram reveladas.
- Média de subtração de PSF 65%: A fonte central nas galáxias Seyfert 1–1.9 de nossa amostra contribui em média $\sim 65\%$ para a emissão circumnuclear. Os 35% restantes são devido à componente estelar.
- Subtração da PSF não relacionada com as propriedades da galáxia hospedeira: A percentagem de subtração da PSF não possui relação com as propriedades da galáxia, ou seja, a emissão proveniente das regiões nucleares está desvinculada dos diferentes tipos de galáxia que hospedam os AGNs.

5.1.2 Morfologia

- Morfologias dos pares semelhantes: Após a subtração da PSF, a morfologia da emissão é semelhante para os diferentes tipos de atividade, incluindo anéis de formação estelar, espirais, nós, emissão difusa, etc.

- Valores da extensão máxima altos: Os valores de extensão da emissão são relativamente altos e extrapolam o kiloparsec central. Este resultado é de um modo geral surpreendente, pois tentamos excluir os braços espirais do disco galáctico quando detectados. Na média, tanto nas Seyfert 1 quanto nas Seyfert 2 a emissão estende-se a aproximadamente 2 kpc. Este valor é muito maior que os encontrados na literatura quando a origem da emissão é devido à formação estelar. Por exemplo, González Delgado et al. 1998 encontrou *starbursts* dentro de uma região de \sim centenas de parsecs em três galáxias. Além disso, apesar da mediana apresentar um valor de $\approx 25\%$ maior para as Seyfert 2 que para as Seyfert 1, a comparação entre as extensões das galáxias do mesmo par não mostra preferência sistemática de um tipo de Seyfert ser mais estendido que o outro. Este resultado está em desacordo com trabalhos anteriores (por exemplo Schmitt & Kinney 1996) que encontraram uma extensão maior para as Seyfert 2 que para as Seyfert 1. Os resultados da literatura podem ser apenas um efeito de seleção. No nosso trabalho, o pareamento da amostra não deixa dúvidas a respeito da igualdade das extensões da emissão ultravioleta.
- Elipticidade dos pares semelhantes: O baixo valor de elipticidade ($e \sim 0.3$) indica que na hipótese da emissão ter a forma de um disco, essa emissão tende a ser mais circular que elíptica. Entretanto, o valor da dispersão é alto ($\sigma_e \sim 0.2$), o que não nos permite chegar a uma conclusão mais geral. Por exemplo, no caso da NGC 3393 a elipticidade da emissão é $e \sim 0.4$, entretanto a morfologia da emissão ultravioleta é igual a morfologia das imagens em O [III]. Como a origem da emissão em O [III] é devido a fotoionização por um núcleo ativo, neste caso a emissão colimada é provavelmente devido à luz espalhada do AGN obscurecido (Cooke et al. 2000), e não de uma região circumnuclear com formação estelar em forma de disco. O que de fato podemos concluir sobre a elipticidade é que não há uma preferência de valores de e quanto ao tipo de atividade: ora a galáxia Seyfert 1 tende a ser mais elíptica que a galáxia Seyfert 2 do mesmo par, ora a Seyfert 2 tende a ser mais elíptica que a galáxia Seyfert 1 do mesmo par.

5.1.3 Fotometria

- Brilho superficial: Após a subtração da PSF, o brilho superficial das regiões mais internas não mostra preferência em termos do tipo de atividade. Para cinco pares, o valor nessas regiões são praticamente iguais. Para 13 pares, as Seyfert 1 são mais brilhantes e para 10 pares as Seyfert 2 o são. Os perfis médios das galáxias de diferentes tipos de atividade são semelhantes quando levado em conta a dispersão em torno da média.

- Magnitudes: Quanto às magnitudes podemos concluir que para todos os anéis estudados, encontramos valores semelhantes para as galáxias Seyfert de tipo 1 e 2. Portanto não há diferença na luminosidade das regiões circumnucleares das galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2.

5.2 Relevância do trabalho

A principal contribuição do trabalho é a remoção da PSF nas imagens das galáxias Seyfert 1, que revelou estruturas morfológicas semelhantes as estruturas já conhecidas nas Seyfert 2, como anéis de formação estelar, nós de emissão – que também podem estar relacionados a formação estelar – entre outras. De uma forma geral, a remoção da fonte não resolvida das Seyfert 1 permitiu um robusto estudo comparativo com as galáxias Seyfert 2.

Um outro aspecto importante e original do trabalho foi a análise através dos pares que garantiu conclusões consistentes sobre os resultados.

O fato das Seyfert 1 serem tão estendidas quanto as Seyfert 2 e de que as magnitudes das regiões dentro do kiloparsec central são semelhantes para ambos tipos de atividade é um aspecto nunca antes encontrado na literatura. Para as escalas de tamanho estudadas, nossos resultados favorecem o Modelo Unificado, uma vez que não foi encontrada diferença entre as regiões circumnucleares no ultravioleta de galáxias Seyfert 1 e Seyfert 2. Se a diferença entre Seyfert 1 e Seyfert 2 existir deve encontrar-se em escalas menores que as estudadas.

5.3 Perspectivas

A caracterização das regiões circumnucleares foi feita de uma forma consistente, porém utilizando somente as imagens no ultravioleta não podemos explicar a natureza da emissão. Uma série de trabalhos utilizando espectros e imagens no ultravioleta para uma amostra pequena de galáxias Seyfert 2 (por exemplo, González Delgado et al. 1998, Colina et al. 1997) revelaram que *starbursts* circumnucleares dominam a emissão UV. Nas imagens da nossa amostra é possível encontrar muitas galáxias – tanto Seyfert 1 como Seyfert 2 – com anéis de formação estelar no kiloparsec central. Pretendemos combinar as imagens do ultravioleta com as imagens de outras bandas (ótico e infravermelho) e assim será possível determinar as idades dos aglomerados de formação estelar quando detectados. Os diagramas cor-cor (F606W-F160W)vs.(F330W-F606W), como os obtidos por Leitherer et al. (1999), podem claramente distinguir o intervalo de idades $3 - 300 \times 10^6$ anos. Além disso, nas imagens da amostra também encontramos estruturas bicônicas ou difusas, portanto não podemos descartar a hipótese de que a origem da emissão ultravioleta nas Seyfert 2 seja devido à luz espalhada do AGN obscurecido. Pretendemos distinguir a emissão originada por formação estelar da emissão originada por luz espalhada usando imagens em rádio do

VLA (existem imagens disponíveis para $\sim 90\%$ da nossa amostra). Também pretendemos ver se existe correlação da morfologia das imagens no ultravioleta com as imagens no O [III], já que esta emissão é um traçador de atividade nuclear.

Apêndice A

Redução de Dados usando o IRAF

Neste apêndice listamos os parâmetros de algumas tarefas do IRAF utilizadas descritas ao longo da seção 3.

Imcombine, seção 3.1.1- Sejam **m231.1_nulflt.fits** o nome de uma das imagens longa com pixels nulos da galáxia MRK 231 e **m231.1_sint_escflt.fits** a imagem sintética multiplicada pela curta, geramos com o *imcombine* uma das imagens **_FLT** da galáxia MRK 231 corrigida por saturação com os parâmetros listados abaixo:

```
(input = m231.1_nulflt.fits,m231.1_sint_escflt.fits)
                                List of images to combine
(output = m231.1_corrflt.fits)
                                List of output images
(headers = )
                                List of header files (optional)
(bpmsk = )
                                List of bad pixel masks (optional)
(rejmsk = )
                                List of rejection masks (optional)
(nrejmsk = )
                                List of number rejected masks (optional)
(expmask = )
                                List of exposure masks (optional)
(sigma = )
                                List of sigma images (optional)
(logfile = STDOUT)
                                Log file

(combine = sum)
                                Type of combine operation
(reject = none)
                                Type of rejection
(project = no)
                                Project highest dimension of input images?
(outtype = real)
                                Output image pixel datatype
(outlimits = )
                                Output limits (x1 x2 y1 y2 ...)
(offsets = none)
                                Input image offsets
(masktype = none)
                                Mask type
```

(maskvalue = 0.0)	Mask value
(blank = 0.0)	Value if there are no pixels
(scale = none)	Image scaling
(zero = none)	Image zero point offset
(weight = none)	Image weights
(statsec =)	Image section for computing statistics
(expname =)	Image header exposure time keyword
(lthreshold = INDEF)	Lower threshold
(hthreshold = INDEF)	Upper threshold
(nlow = 1)	minmax: Number of low pixels to reject
(nhigh = 1)	minmax: Number of high pixels to reject
(nkeep = 1)	Minimum to keep (pos) or maximum to reject (neg)
(mclip = yes)	Use median in sigma clipping algorithms?
(lsigma = 3.0)	Lower sigma clipping factor
(hsigma = 3.0)	Upper sigma clipping factor
(rdnoise = 0.)	ccdclip: CCD readout noise (electrons)
(gain = 1.)	ccdclip: CCD gain (electrons/DN)
(snoise = 0.)	ccdclip: Sensitivity noise (fraction)
(sigscale = 0.1)	Tolerance for sigma clipping scaling corrections
(pclip = -0.5)	pclip: Percentile clipping parameter
(grow = 0.0)	Radius (pixels) for neighbor rejection
(mode = al)	

Imcombine, seção 3.1.2- Para combinar duas imagens e eliminar raios cósmicos utilizamos na tarefa *imcombine* o critério de rejeição *minmax*. Os parâmetros são praticamente os mesmos que os descritos acima, com as seguintes mudanças:

(combine = median)	Type of combine operation
(reject = minmax)	Type of rejection
(nlow = 0)	minmax: Number of low pixels to reject
(nhigh = 1)	minmax: Number of high pixels to reject
(nkeep = 1)	Minimum to keep (pos) or maximum to reject (neg)
(mclip = yes)	Use median in sigma clipping algorithms?

Imshift, seção 3.1.2- Seja *psf_fit.fits* a imagem combinada das duas imagens *_FLT* da estrela utilizada como PSF, e seja *m40.1_fit.fits* uma das imagens *_FLT* da

galáxia MRK 40. O máximo da emissão da PSF está centrado nos pixels $(x, y) = (464.47, 494.34)$ e a imagem da galáxia em $(x, y) = (513.83, 515.37)$. A PSF de referência para essa imagem é gerada com o *imshift* com os seguintes parâmetros:

```

input = psf_flt.fits) Input images to be fit
output = psf_ref1_flt.fits)
                                Output images
xshift = 49.36                    Fractional pixel shift in x
yshift = 21.03                    Fractional pixel shift in y
(shifts_file = )                  Text file containing shifts for each image
(interp_type = linear)           Interpolant (nearest,linear,poly3,
                                poly5,spline3,sinc,drizzle)
(boundary_type = nearest)       Boundary (constant,nearest,reflect,wrap)
(constant = 0.0)                 Constant for boundary extension
(mode = ql)

```

Multidrizzle, seção 3.1.2- Sejam *m40.1_m80per_flt.fits* e *m40.2_m80per_flt.fits* as duas imagens **_FLT** da galáxia MRK 40 após a subtração de 80% da PSF. A correção por distorção é feita utilizando a tarefa *multidrizzle* em ambiente PyRAF com os seguintes parâmetros:

```

input = m40.1_m80per_flt.fits,m40.2_m80per_flt.fits)
                                Name, wild-card and suffix, or @list)
(output = m40_80per_drz.fits)
                                Rootname for output drizzled products
(mdriztab = no)                  Use Multidrizzle parameter file
                                specified in header?
(refimage = )
(runfile = )                     File for logging the script commands
(workingplace = no)              Work on input files in place? (NOT RECOMMENDED)
(updatewcs = yes)                Update the WCS keywords?
(coeffs = header)                Use header-based distortion coefficients?
(context = no)                   Create context image during final drizzle?
(clean = yes)                    Remove temporary files?
(group = )
(ra = )                          right ascension output frame center in
                                decimal degrees
(dec = )                          declination output frame center in
                                decimal degrees

```

(build = yes)	Create multi-extension output file?
(shiftfile =)	Shiftfile name
(staticfile =)	Name of (optional) input static bad-pixel mask
STEP 1: STATIC MASK	
(static = yes)	Create static bad-pixel mask from the data?
(static_sig = 4.0)	Sigma*rms below mode to clip for static mask
STEP 2: SKY SUBTRACTION	
(skysub = yes)	Perform sky subtraction?
(skywidth = 0.1)	Bin width for sampling sky statistics (in sigma)
(skystat = median)	Sky correction statistics parameter
(skylower = INDEF)	Lower limit of usable data for sky (always in electrons)
(skyupper = INDEF)	Upper limit of usable data for sky (always in electrons)
(skyclip = 5)	Number of clipping iterations
(skylsigma = 3.0)	Lower side clipping factor (in sigma)
(skyusigma = 3.0)	Upper side clipping factor (in sigma)
(skyuser =)	KEYWORD indicating a sky subtraction value if done by user.
STEP 3: DRIZZLE SEPARATE IMAGES	
(driz_separate = yes)	Drizzle onto separate output images?
(driz_sep_outnx =)	Size of separate output frame's X-axis (pixels)
(driz_sep_outny =)	Size of separate output frame's Y-axis (pixels)
(driz_sep_kernel = square)	Shape of kernel function
(driz_sep_wt_scl = exptime)	Weighting factor for input data image
(driz_sep_scale = INDEF)	Absolute size of output pixels in arcsec/pixel
(driz_sep_pixfrac = 1.0)	Linear size of drop in input pixels
(driz_sep_rot = INDEF)	Position Angle of drizzled image's Y-axis w.r.t. North (degrees)
(driz_sep_fillval = INDEF)	Value to be assigned to undefined output points
(driz_sep_bits = 4192)	Integer mask bit values considered good
STEP 4: CREATE MEDIAN IMAGE	
(median = yes)	Create a median image?
(median_newmasks = yes)	Create new masks when doing the median?

(combine_type = minmed)	Type of combine operation
(combine_nsigma = 4 3)	minmed: Significance for accepting minimum instead of median
(combine_nlow = 0)	median minimum: Number of low pixels to reject
(combine_nhigh = 1)	median minimum: Number of high pixels to reject
(combine_lthresh = INDEF)	median minimum: Lower threshold for clipping input pixel values
(combine_hthresh = INDEF)	median minimum: Upper threshold for clipping input pixel values
(combine_grow = 1)	minmed: Radius (pixels) for neighbor rejection
	 STEP 5: BLOT BACK THE MEDIAN IMAGE
(blot = yes)	Blot the median back to the input frame?
(blot_interp = poly5)	Interpolant (nearest,linear,poly3,poly5,sinc)
(blot_sinscl = 1.0)	Scale for sinc interpolation kernel
	 STEP 6: REMOVE COSMIC RAYS WITH DERIV, DRIZ_CR
(driz_cr = yes)	Perform CR rejection with deriv and driz_cr?
(driz_cr_corr = no)	Create CR cleaned _cor file and a _crmask file?
(driz_cr_snr = 3.5 3.0)	Driz_cr.SNR parameter
(driz_cr_grow = 1)	Driz_cr_grow parameter
(driz_cr_ctegrow = 0)	Driz_cr_ctegrow parameter
(driz_cr_scale = 1.2 0.7)	Driz_cr.scale parameter
	 STEP 7: DRIZZLE FINAL COMBINED IMAGE
(driz_combine = yes)	Perform final drizzle image combination?
(final_wht_type = EXP)	Type of weighting for final drizzle
(final_outnx =)	Size of FINAL output frame X-axis (pixels)
(final_outny =)	Size of FINAL output frame Y-axis (pixels)
(final_kernel = square)	Shape of kernel function
(final_wt_scl = exptime)	Weighting factor for input data image
(final_scale = INDEF)	Absolute size of output pixels in arcsec/pixel
(final_pixfrac = 1.0)	Linear size of drop in input pixels
(final_rot = INDEF)	Position Angle of drizzled image's Y-axis w.r.t. North (degrees)
(final_fillval = INDEF)	Value to be assigned to undefined output points
(final_bits = 4192)	Integer mask bit values considered good
(final_units = cps)	Units for final drizzle image (counts or cps)

	OVERRIDE DEFAULT INSTRUMENT PARAMETERS
(gain =)	Detector gain in electrons per count
(gnkeyword =)	Detector gain keyword in header
(rdnoise =)	Detector read noise in electrons
(rnkeyword =)	Detector read noise keyword in header
(exptime =)	Exposure time in seconds
(expkeyword =)	Exposure time keyword in header
(crbit = 0)	Bit value for CR ident. in DQ array

O parâmetro *skysub* foi ajustado como “no” para as galáxias saturadas, pois o céu das imagens **_FLT** dessas galáxias já havia sido subtraído durante o processo de correção por saturação.

Ellipse, seção 3.2.2- Seja o centro da emissão da galáxia UGC 6100 $(x, y) = (594.27, 571.24)$. Sejam ainda, os valores de elipticidade, ângulo de posição e semi-eixo maior (computados com a tarefa *countour* utilizando o parâmetro *floor* = 0".0027028 que é o valor do céu da imagem mais 5σ) os seguintes: 0.150, 60° , e 422 pixels. Com esse conjunto informações a tarefa *geompar* foi editada da seguinte forma:

(x0 = 594.27)	initial isophote center X
(y0 = 571.24)	initial isophote center Y
(ellip0 = 0.150)	initial ellipticity
(pa0 = 60)	initial position angle (degrees)
(sma0 = 482.0)	initial semi-major axis lenght
(minisma = 15.0)	minimum semi-major axis lenght
(maxsma = INDEF)	maximum semi-major axis lenght
(step = 30.0)	sma step between successive ellipses
(linear = yes)	linear sma step ?
(maxrit = INDEF)	maximum sma lenght for iterative mode
(recenter = no)	allows finding routine to re-center x0-y0 ?
(xylearn = no)	updates pset with new x0-y0 ?
(physical = no)	physical coordinate system ?
(mode = al)	

E a tarefa *controlpar*:

(conver = 2.0)	convergency criterion (maximum harmonic amplitude)
(minit = 10)	minimum no. of iterations at each sma

(maxit = 30)	maximum no. of iterations at each sma
(hcenter = yes)	hold center fixed ?
(hellip = no)	hold ellipticity fixed ?
(hpa = no)	hold position angle fixed ?
(wander = INDEF)	maximum wander in successive isophote centers
(maxgerr = 0.5)	maximum acceptable gradient relative error
(olthresh = 1.0)	object locator's k-sigma threshold
(soft = no)	soft stop ?
(mode = al)	

Para por fim editar a tarefa *ellipse*:

input = UGC6100_drz.fits	input image name
output = UGC6100.tab	output table name
(dqf =)	data quality file name or extension
(inellip =)	table with input ellipses for no-fit mode
(geompar =)	geometric parameters (pset)
(controlpar =)	algorithm control parameters (pset)
(samplepar =)	sampling control parameters (pset)
(magpar =)	magnitude scale parameters (pset)
(interactive = yes)	interactive ?
(device = stdgraph)	graphics output device
(icommands =)	image cursor
(gcommands =)	graphics cursor
(masksz = 5)	pixel square mask size ('m' cursor key)
(region = yes)	region masking mode ?
(memory = yes)	memory-intensive (versus disk-intensive) ?
(verbose = yes)	list summary at STDOUT ?
(mode = al)	

Phot e polyphot, seção 3.2.3- Para executar as tarefas de fotometria é preciso ajustar os parâmetros de: *datapars*, *centerpars*, *fitskypars*, *polypars* (para a tarefa *polyphot*) e *photpars* (para a tarefa *phot*), além delas próprias. Seja $\sigma = 3.5402 \times 10^{-4}$ o valor de desvio padrão do céu para a galáxia MRK 42. Os parâmetros de *datapars* são:

(scale = 1.)	Image scale in units per pixel
(fwhmpsf = 2.5)	FWHM of the PSF in scale units

(emission = yes)	Features are positive ?
(sigma = 3.5402E-4)	Standard deviation of background in counts
(datamin = INDEF)	Minimum good data value
(datamax = INDEF)	Maximum good data value
(noise = "poisson")	Noise model
(ccdread = "")	CCD readout noise image header keyword
(gain = "CCDGAIN")	CCD gain image header keyword
(readnoise = 4.71)	CCD readout noise in electrons
(epadu = 2.)	Gain in electrons per count
(exposure = "exptime")	Exposure time image header keyword
(airmass = "")	Airmass image header keyword
(filter = "")	Filter image header keyword
(obstime = " ")	Time of observation image header keyword
(itime = 1200.)	Exposure time
(xairmass = INDEF)	Airmass
(ifilter = "INDEF")	Filter
(otime = "INDEF")	Time of observation

Os parâmetros de *centerpars* são:

(calgorithm = "none")	Centering algorithm
(cbox = 5.)	Centering box width in scale units
(cthreshold = 0.)	Centering threshold in sigma above background
(minsnratio = 1.)	Minimum signal-to-noise ratio for centering algorithm
(cmaxiter = 10)	Maximum number of iterations for centering algorithm
(maxshift = 1.)	Maximum center shift in scale units
(clean = no)	Symmetry clean before centering ?
(rclean = 1.)	Cleaning radius in scale units
(rclip = 2.)	Clipping radius in scale units
(kclean = 3.)	Rejection limit in sigma
(mkcenter = no)	Mark the computed center on display ?
(mode = "ql")	

Os parâmetros de *fitskypars* são:

(salgorithm = "constant")	Sky fitting algorithm
---------------------------	-----------------------

(annulus = 10.)	Inner radius of sky annulus in scale units
(dannulus = 10.)	Width of sky annulus in scale units
(skyvalue = 0.)	User sky value
(smaxiter = 10)	Maximum number of sky fitting iterations
(sloclip = 0.)	Lower clipping factor in percent
(shiclip = 0.)	Upper clipping factor in percent
(snreject = 50)	Maximum number of sky fitting rejection iteration
(sloreject = 3.)	Lower K-sigma rejection limit in sky sigma
(shireject = 3.)	Upper K-sigma rejection limit in sky sigma
(khist = 3.)	Half width of histogram in sky sigma
(binsize = 0.1)	Binsize of histogram in sky sigma
(smooth = no)	Boxcar smooth the histogram
(rgrow = 0.)	Region growing radius in scale units
(mksky = no)	Mark sky annuli on the display
(mode = "ql")	

Os parâmetros de *photpars* (apenas para a tarefa *phot*) são:

(weighting = "constant")	Photometric weighting scheme for wphot
(apertures = "9")	List of aperture radii in scale units
(zmag = 21.1)	Zero point of magnitude scale
(mkapert = no)	Draw apertures on the display
(mode = "ql")	

Os parâmetros de *polypars* (apenas para a tarefa *polyphot*) são:

(zmag = 21.1)	Zero point of magnitude scale
(mkpolygon = no)	Draw polygon on the image display
(mode = "ql")	

Como utilizamos o parâmetro *calgorithm* = "none" um arquivo contendo as coordenadas do centro da abertura – no caso, o centro da galáxia MRK 42 – foi criado. Seja **m42_coordphot.dat** este arquivo. Dentro dele, os valores de centro são editados da seguinte forma:

```
585.03 568.78
```

então os parâmetros do *phot* são da seguinte forma:

```

        image = "MRK42"           The input image(s)
    skyfile = ""                 The input sky file(s)
    (coords = "m42_coordphot.dat")
                                The input coordinate files(s)
    (output = "m42_phot.dat")
                                The output photometry file(s)
    (plotfile = "")              The output plots metacode file
    (datapars = "")              Data dependent parameters
    (centerpars = "")            Centering parameters
    (fitskypars = "")            Sky fitting parameters
    (photpars = "")              Photometry parameters
    (interactive = no)           Interactive mode ?
    (radplots = no)              Plot the radial profiles in interactive mode ?
    (icommands = "")             Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
    (gcommands = "")             Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
    (wcsin = )_.wcsin)           The input coordinate system (logical,tv,...
    (wcsout = )_.wcsout)         The output coordinate system (logical,tv,...
    (cache = )_.cache)           Cache the input image pixels in memory ?
    (verify = )_.verify)         Verify critical parameters in non-interactive m
    (update = )_.update)         Update critical parameters in non-interactive
                                mode
    (verbose = )_.verbose)       Print messages in non-interactive mode ?
    (graphics = )_.graphics)     Graphics device
    (display = )_.display)       Display device
    (mode = "ql")

```

Como utilizamos o parâmetro *mkpolygon* = "no", um arquivo contendo os vértices do polígono de abertura foi criado. Seja **m42_polyg.dat** este arquivo. Para exemplificar como deve ser editado este arquivo, vamos ilustrar um caso de três aberturas em formato de quadrado, então os vértices são editados no arquivo **m42_polyg.dat** da seguinte forma:

```

575.03 578.78
595.03 578.78
595.03 558.78
575.03 558.78
;
565.03 588.78
605.03 588.78

```

```

605.03 548.78
565.03 548.78
;
555.03 598.78
615.03 598.78
615.03 538.78
555.03 538.78

```

As coordenadas do centro de cada polígono também devem ser fornecidas – centro da galáxia MRK42. Seja **m42_coordpoly.dat** este arquivo. Editamos-no editados da seguinte forma:

```

585.03 568.78
;
585.03 568.78
;
585.03 568.78

```

então os parâmetros do *polyphot* são da seguinte forma:

```

    image = "MRK42_m65"  The input image(s)
(polygons = "m42_polyg.dat")
                        The input polygons file(s)
    (coords = "m42_coordpoly.dat")
                        The input coordinates file(s)
    (output = "m42_polyphot.dat")
                        The output photometry file(s)
    (datapars = "")      Data dependent parameters
    (centerpars = "")    Centering parameters
    (fitskypars = "")    Sky fitting parameters
    (polypars = "")      Photometry parameters
(interactive = no)      Interactive mode ?
    (icommands = "")     Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
    (gcommands = "")     Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
    (wcsin = )_.wcsin)   The input coordinate system (logical,tv...
    (wcsout = )_.wcsout) The output coordinate system (logical,tv...
    (cache = )_.cache)   Cache the input image pixels in memory ?
    (verify = )_.verify) Verify critical parameters in non-interactive m
    (update = )_.update) Update critical parameters in non-interactive m

```

```
(verbose = )_.verbose)  Print messages in non-interactive mode ?  
(graphics = )_.graphics) Graphics device  
(display = )_.display)  Display device  
(mode = "ql")
```


Referências Bibliográficas

- [1] ANTONUCCI, R. R. J.; MILLER, J. S. Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068. **Astrophysical Journal**, v. 297, p. 621–632, Oct. 1985.
- [2] CARDELLI, J. A.; CLAYTON, G. C.; MATHIS, J. S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. **Astrophysical Journal**, v. 345, p. 245–256, Oct. 1989.
- [3] CID FERNANDES, R.; GU, Q.; MELNICK, J.; TERLEVICH, E.; TERLEVICH, R.; KUNTH, D.; RODRIGUES LACERDA, R.; JOGUET, B. The star formation history of Seyfert 2 nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 355, p. 273–296, Nov. 2004.
- [4] CID FERNANDES, R.; HECKMAN, T.; SCHMITT, H.; DELGADO, R. M. G.; STORCHI-BERGMANN, T. Empirical diagnostics of the starburst-AGN connection. **Astrophysical Journal**, v. 558, p. 81–108, Sept. 2001.
- [5] CID FERNANDES, R. J.; STORCHI-BERGMANN, T.; SCHMITT, H. R. The stellar content of active galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 297, p. 579–616, June 1998.
- [6] CID FERNANDES, R. J.; TERLEVICH, R. The origin of the blue continuum in type 2 Seyferts: reflection or star-forming tori? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 272, p. 423–441, Jan. 1995.
- [7] COLINA, L.; VARGAS, M. L. G.; GONZÁLEZ DELGADO, R. M.; MAS-HESSE, J. M.; PEREZ, E.; ALBERDI, A.; KRABBE, A. On the origin of the ultraviolet continuum in Seyfert 2 galaxies. **Astrophysical Journal Letters**, v. 488, p. L71–L76, Oct. 1997.
- [8] COOKE, A. J.; BALDWIN, J. A.; FERLAND, G. J.; NETZER, H.; WILSON, A. S. The narrow-line region in the Seyfert 2 galaxy NGC 3393. **Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 129, p. 517–545, Aug. 2000.

- [9] DE VAUCOULEURS, G.; DE VAUCOULEURS, A.; CORWIN, H. G., JR.; BUTA, R. J.; PATUREL, G.; FOUQUE, P. **Third reference catalogue of bright galaxies**: Berlin, Springer-Verlag, 1991.
- [10] FERRARESE, L.; MERRITT, D. A fundamental relation between supermassive black holes and their host galaxies. **Astrophysical Journal Letters**, v. 539, p. L9–L12, Aug. 2000.
- [11] FREEDMAN, W. L.; HUGHES, S. M.; MADORE, B. F.; MOULD, J. R.; LEE, M. G.; STETSON, P.; KENNICUTT, R. C.; TURNER, A.; FERRARESE, L.; FORD, H.; GRAHAM, J. A.; HILL, R.; HOESSEL, J. G.; HUCHRA, J.; ILLINGWORTH, G. D. The Hubble Space Telescope extragalactic distance scale key project. 1: the discovery of Cepheids and a new distance to M81. **Astrophysical Journal**, v. 427, p. 628–655, June 1994.
- [12] FREEMAN, K. C.; KARLSSON, B.; LYNKA, G.; BURRELL, J. F.; VAN WOERDEN, H.; GOSS, W. M.; MEBOLD, U. A large new galaxy in Circinus. **Astronomy and Astrophysics**, v. 55, p. 445–458, Mar. 1977.
- [13] GARCIA, A. M. General study of group membership. II. Determination of nearby groups. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, v. 100, p. 47–90, July 1993.
- [14] GEBHARDT, K.; BENDER, R.; BOWER, G.; DRESSLER, A.; FABER, S. M.; FILIPPENKO, A. V.; GREEN, R.; GRILLMAIR, C.; HO, L. C.; KORMENDY, J.; LAUER, T. R.; MAGORRIAN, J.; PINKNEY, J.; RICHSTONE, D.; TREMAINE, S. A relationship between nuclear black hole mass and galaxy velocity dispersion. **Astrophysical Journal Letters**, v. 539, p. L13–L16, Aug. 2000.
- [15] GONZÁLEZ DELGADO, R. M.; HECKMAN, T.; LEITHERER, C. The nuclear and circumnuclear stellar population in Seyfert 2 galaxies: implications for the starburst-active galactic nucleus connection. **Astrophysical Journal**, v. 546, p. 845–865, Jan. 2001.
- [16] GONZÁLEZ DELGADO, R. M.; HECKMAN, T.; LEITHERER, C.; MEURER, G.; KROLIK, J.; WILSON, A. S.; KINNEY, A.; KORATKAR, A. Ultraviolet-optical observations of the Seyfert 2 galaxies NGC 7130, NGC 5135, and IC 3639: implications for the starburst-active galactic nucleus connection. **Astrophysical Journal**, v. 505, p. 174–198, Sept. 1998.
- [17] HECKMAN, T. M.; GONZALEZ-DELGADO, R.; LEITHERER, C.; MEURER, G. R.; KROLIK, J.; WILSON, A. S.; KORATKAR, A.; KINNEY, A. A powerful nuclear

- starburst in the Seyfert galaxy Markarian 477: implications for the starburst–active galactic nucleus connection. **Astrophysical Journal**, v. 482, p. 114–132, June 1997.
- [18] KHACHIKIAN, E. Y.; WEEDMAN, D. W. An atlas of Seyfert galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 192, p. 581–589, Sept. 1974.
- [19] LEITHERER, C.; SCHAERER, D.; GOLDADER, J. D.; GONZÁLEZ DELGADO, R. M.; ROBERT, C.; KUNE, D. F.; DE MELLO, D. F.; DEVOST, D.; HECKMAN, T. M. Starburst99: synthesis models for galaxies with active star formation. **Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 123, p. 3–40, July 1999.
- [20] MAGORRIAN, J.; TREMAINE, S.; RICHSTONE, D.; BENDER, R.; BOWER, G.; DRESSLER, A.; FABER, S. M.; GEBHARDT, K.; GREEN, R.; GRILLMAIR, C.; KORMENDY, J.; LAUER, T. The demography of massive dark objects in galaxy centers. **Astronomical Journal**, v. 115, p. 2285–2305, June 1998.
- [21] MALKAN, M. A.; FILIPPENKO, A. V. The stellar and nonstellar continua of Seyfert galaxies nonthermal emission in the near-infrared. **Astrophysical Journal**, v. 275, p. 477–492, Dec. 1983.
- [22] MALKAN, M. A.; GORJIAN, V.; TAM, R. A Hubble Space Telescope imaging survey of nearby active galactic nuclei. **Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 117, p. 25–88, July 1998.
- [23] MILLER, J. S.; GOODRICH, R. W. Spectropolarimetry of high-polarization Seyfert 2 galaxies and unified Seyfert theories. **Astrophysical Journal**, v. 355, p. 456–467, June 1990.
- [24] MOULD, J. R.; HUCHRA, J. P.; FREEDMAN, W. L.; KENNICUTT, R. C., JR.; FERRARESE, L.; FORD, H. C.; GIBSON, B. K.; GRAHAM, J. A.; HUGHES, S. M. G.; ILLINGWORTH, G. D.; KELSON, D. D.; MACRI, L. M.; MADORE, B. F.; SAKAI, S.; SEBO, K. M.; SILBERMANN, N. A.; STETSON, P. B. The Hubble Space Telescope key project on the extragalactic distance scale. XXVIII. Combining the constraints on the Hubble constant. **Astrophysical Journal**, v. 529, p. 786–794, Feb. 2000.
- [25] MUÑOZ MARÍN, V. M.; GONZÁLEZ DELGADO, R. M.; SCHMITT, H. R.; CID FERNANDES, R.; PÉREZ, E.; STORCHI-BERGMANN, T.; HECKMAN, T.; LEITHERER, C. An atlas of the circumnuclear regions of 75 Seyfert galaxies in the near-ultraviolet with the Hubble Space Telescope Advanced Camera for Surveys. **Astronomical Journal**, v. 134, p. 648–667, Aug. 2007.

- [26] NORMAN, C.; SCOVILLE, N. The evolution of starburst galaxies to active galactic nuclei. **Astrophysical Journal**, v. 332, p. 124–134, Sept. 1988.
- [27] OLIVA, E.; ORIGLIA, L.; KOTILAINEN, J. K.; MOORWOOD, A. F. M. Red supergiants as starburst tracers in galactic nuclei. **Astronomy and Astrophysics**, v. 301, p. 55–67, Sept. 1995.
- [28] OLIVA, E.; ORIGLIA, L.; MAIOLINO, R.; MOORWOOD, A. F. M. Starbursts in active galaxy nuclei: observational constraints from IR stellar absorption lines. **Astronomy and Astrophysics**, v. 350, p. 9–16, Oct. 1999.
- [29] OSTERBROCK, D. E. Observational model of the ionized gas in Seyfert and radio-galaxy nuclei. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 75, p. 540–544, Feb. 1978.
- [30] OSTERBROCK, D. E. Seyfert galaxies with weak broad H alpha emission lines. **Astrophysical Journal**, v. 249, p. 462–470, Oct. 1981.
- [31] PASTORIZA, M. G. Spectra of peculiar nuclei in galaxies. **The Observatory**, v. 87, p. 225–228, Oct. 1967.
- [32] PERRY, J. J.; DYSON, J. E. Shock formation of the broad emission-line regions in QSOs and active galactic nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 213, p. 665–710, Apr. 1985.
- [33] PETERSON, B. M. **An introduction to active galactic nuclei**. 1.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [34] QUILLEN, A. C.; MCDONALD, C.; ALONSO-HERRERO, A.; LEE, A.; SHAKED, S.; RIEKE, M. J.; RIEKE, G. H. The multitude of unresolved continuum sources at 1.6 microns in Hubble Space Telescope images of Seyfert galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 547, p. 129–139, Jan. 2001.
- [35] SALPETER, E. E. Accretion of interstellar matter by massive objects. **Astrophysical Journal**, v. 140, p. 796–800, Aug. 1964.
- [36] SCHMIDT, M.; GREEN, R. F. Quasar evolution derived from the Palomar bright quasar survey and other complete quasar surveys. **Astrophysical Journal**, v. 269, p. 352–374, June 1983.
- [37] SCHMITT, H. R.; KINNEY, A. L. A Comparison between the narrow-line regions of Seyfert 1 and Seyfert 2 galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 463, p. 498–508, June 1996.

- [38] SCHMITT, H. R.; STORCHI-BERGMANN, T.; FERNANDES, R. C. Spectral synthesis of the nuclear regions of Seyfert 2 and radio galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 303, p. 173–178, Feb. 1999.
- [39] SÉRSIC, J. L.; PASTORIZA, M. Peculiar nuclei of galaxies. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 77, p. 287–289, Aug. 1965.
- [40] SÉRSIC, J. L.; PASTORIZA, M. Properties of galaxies with peculiar nuclei. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 79, p. 152–155, Apr. 1967.
- [41] SHLOSMAN, I.; BEGELMAN, M. C.; FRANK, J. The fuelling of active galactic nuclei. **Nature**, v. 345, p. 679–686, June 1990.
- [42] SHU, F. H.; ADAMS, F. C.; LIZANO, S. Star formation in molecular clouds: observation and theory. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 25, p. 23–81, 1987.
- [43] SIRIANNI, M.; JEE, M. J.; BENÍTEZ, N.; BLAKESLEE, J. P.; MARTEL, A. R.; MEURER, G.; CLAMPIN, M.; DE MARCHI, G.; FORD, H. C.; GILLILAND, R.; HARTIG, G. F.; ILLINGWORTH, G. D.; MACK, J.; MCCANN, W. J. The photometric performance and calibration of the Hubble Space Telescope Advanced Camera for Surveys. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 117, p. 1049–1112, Oct. 2005.
- [44] STORCHI-BERGMANN, T.; FERNANDES, R. C.; SCHMITT, H. R. The nature of the optical light in Seyfert 2 galaxies with polarized continua. **Astrophysical Journal**, v. 501, p. 94–102, July 1998.
- [45] STORCHI-BERGMANN, T.; RAIMANN, D.; BICA, E. L. D.; FRAQUELLI, H. A. The frequency of nuclear star formation in Seyfert 2 galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 544, p. 747–762, Dec. 2000.
- [46] STORCHI-BERGMANN, T.; RODRIGUEZ-ARDILA, A.; SCHMITT, H. R.; WILSON, A. S.; BALDWIN, J. A. Circumnuclear star formation in active galaxies. **Astrophysical Journal**, v. 472, p. 83–101, Nov. 1996.
- [47] TRAN, H. D. The nature of Seyfert 2 galaxies with obscured broad-line regions. III. Interpretation. **Astrophysical Journal**, v. 440, p. 597–605, Feb. 1995.
- [48] TULLY, R. B. **Nearby galaxies catalog**: Cambridge, Cambridge University Press, 1988.

- [49] WILLIAMS, R. J. R.; BAKER, A. C.; PERRY, J. J. Symbiotic starburst-black hole active galactic nuclei . I. Isothermal hydrodynamics of the mass-loaded interstellar medium. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 310, p. 913–962, Dec. 1999.
- [50] WILSON, A. S.; HELFER, T. T.; HANIFF, C. A.; WARD, M. J. The starburst ring around the Seyfert nucleus in NGC 7469. **Astrophysical Journal**, v. 381, p. 79–84, Nov. 1991.
- [51] ZEL'DOVICH, Y. B.; NOVIKOV, I. D. The radiation of gravity waves by bodies moving in the field of a collapsing star. **Soviet Physics Doklady**, v. 9, p. 246–+, Oct. 1964.