

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

População estelar em galáxias ativas versus não ativas: o papel das novas gerações de estrelas*

Daniel Iunes Raimann

Tese realizada sob orientação da Dra.
Thaisa Storchi-Bergmann, apresentada ao
Instituto de Física da UFRGS em preen-
chimento parcial dos requisitos para a ob-
tenção do título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre
2004

* Trabalho financiado parcialmente pela Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Este trabalho é dedicado

A Deus, pelo dom da vida.

Ao amor da minha esposa,
Josema Rita Ghisleni Raimann;
Ao apoio de
minha família.

Agradecimentos

- À minha orientadora, Dra. Thaisa Storchi-Bergmann, pessoa fundamental em todos os momentos, propondo desafios e auxiliando na superação dos mesmos.
- Aos professores e colegas do Departamento de Astronomia, em especial aos doutores Henrique Aita Fraquelli, Eduardo Bica e Charles Bonatto, cujo auxílio permanente foi fundamental em muitos momentos da concretização deste trabalho.
- Aos meus colaboradores neste trabalho, doutores Roberto Cid Fernandes, Henrique Schmitt, Rosa González Delgado, Timothy Heckman, Claus Leitherer, Hernan Quintana, Richard Hunstead e Lutz Wisotzki, que me auxiliaram em muitos momentos.
- Aos colegas da sala M202, pelos momentos de descontração na discussão dos mais diversos assuntos.
- Aos professores e colegas da UFPel, em especial aos meus orientadores do tempo da graduação, professores Dr. Amauri Machado e Regina Costa.
- À turma de Pelotas, que muito me ajudou nos primeiros tempos aqui no IF-UFRGS, e com quem consegui aprofundar relações muito importantes.
- À Josema, minha esposa, que não pode contar em todos os momentos comigo ao seu lado, mas com seu amor e amizade me ajudou a concretizar este sonho.
- Ao André, nosso primeiro filho, fruto do nosso amor. Espero poder ensiná-lo a buscar o desconhecido sempre e com intensidade.
- Aos meus pais e irmãs, que me acompanharam em todos os passos que dei para chegar até este momento.

- Aos meus tios/padrinhos e primos de Porto Alegre, que me acolheram em sua casa durante os primeiros dois anos aqui. O apoio de vocês foi fundamental para que eu tivesse a tranqüilidade necessária nesta nova fase da minha vida.
- À toda minha família, de Pelotas a Espumoso, que sempre me apoiou e ajudou a equilibrar a minha vida em direção à felicidade.
- Aos meus queridos amigos/irmãos da Pastoral Universitária, em cujo meio pude aprofundar as minhas opções e chegar aonde estou hoje.
- A todos aqueles que de uma forma ou de outra possibilitaram que este trabalho fosse realizado.

Resumo

Esta tese apresenta o estudo da população estelar nuclear e extranuclear de uma amostra de galáxias ativas próximas (trinta e sete galáxias Seyfert 2 e vinte e quatro rádio-galáxias), e de uma amostra de controle de galáxias não ativas (onze elípticas, sete lenticulares e dezoito espirais). Foram para isto utilizados espectros óticos de fenda longa com boa razão sinal-ruído obtidos em telescópios com aberturas de 1,5m a 4m. As regiões amostradas nas extrações correspondem nas galáxias a 100-2000 parsecs (pc), com um valor mediano de 800 pc.

A fim de verificar se existe relação entre a presença de formação estelar recente e a atividade nuclear, foram determinadas as idades das populações estelares da região nuclear e circumnuclear destas galáxias, utilizando o método de síntese espectral. Também foi verificada a influência do núcleo ativo sobre a população circumnuclear, através do estudo da diluição das larguras equivalentes nucleares em relação àquelas de fora do núcleo.

Um dos aspectos mais relevantes do presente estudo é a inclusão de uma amostra de controle de galáxias não ativas em um número comparável ao de galáxias ativas. O estudo conjunto de uma amostra de controle serviu para quantificar as diferenças obtidas dos espectros – em particular no contínuo e na população estelar das galáxias devido a existência da atividade nuclear.

Os principais resultados são os que seguem:

Uma grande fração de galáxias Seyfert 2 apresenta formação estelar recente (com idades iguais ou inferiores a 100 milhões de anos), tanto no núcleo quanto fora dele. Por outro lado, as rádio-galáxias em geral são dominadas por populações velhas e de idade intermediária (10 e 1 bilhão de anos); as populações jovens são significativas em apenas 10% destes objetos.

Em vários aspectos, galáxias Seyfert 2 e rádio-galáxias apresentam características diferentes. As primeiras apresentam resultados da síntese bem mais diversificados do que as últimas, tanto em termos de contribuição das populações de diferentes idades, quanto em relação ao comportamento dos gradientes de população estelar e dos avermelhamentos internos das galáxias.

As galáxias Seyfert 2 apresentam uma diversidade de populações bastante grande, e em geral essas populações são muito diferentes daquelas encontradas em galáxias não ativas lenticulares e espirais. Apesar das rádio-galáxias apresentarem uma pequena diversidade de populações estelares e, aparentemente, populações semelhantes àquelas encontradas em

galáxias não ativas elípticas e lenticulares, elas têm populações “levemente” mais jovens do que as encontradas nas galáxias não ativas, sob a forma de uma contribuição maior da população de 1 bilhão de anos.

Nenhuma rádio-galáxia Fanaroff-Riley tipo I apresenta contribuição significativa de populações mais jovens do que 1 bilhão de anos, enquanto que em uma ou duas rádio-galáxias FRII isso ocorre. Esse resultado sugere que existe uma pequena diferença entre a população estelar das rádio-galáxias FRI e FRII estudadas. Essa diferença precisa ser melhor estudada, através de uma amostra de rádio-galáxias maior, para se verificar se não é originada apenas pelo pequeno número de objetos analisados em cada grupo.

Para as galáxias Seyfert 2, os resultados encontrados são consistentes com um cenário evolutivo, onde uma interação provocaria a queda do gás na direção do núcleo provocando um ou mais episódios de formação estelar e iniciando também a atividade nuclear. Enquanto a formação estelar é dominante, as assinaturas da interação são ainda visíveis e o espectro apresenta as características de uma população jovem e linhas de emissão intemediárias entre aquelas de galáxias Seyfert 2 e de galáxias “Starburst”. A partir do momento em que o episódio de formação estelar se enfraquece, o espectro passa a ser dominado por características de uma população mais velha e com linhas de emissão típicas de uma galáxia Seyfert.

Dentro do cenário acima, a diversidade de populações encontrada pode então ser explicada como sendo devida a diferentes estágios evolutivos da interação; além disso, um outro fator importante parece ser a quantidade de gás disponível; se esta quantidade for muito pequena, pode não ocorrer o disparo de formação estelar.

No caso das rádio-galáxias, as interações que teriam originado a atividade nuclear parecem ter ocorrido há mais tempo (1 bilhão de anos atrás para a maioria dos objetos estudados), sugerindo um maior intervalo de tempo entre a interação e o disparo da atividade rádio do que entre a interação e a atividade Seyfert.

Abstract

This thesis presents a study of the nuclear and extranuclear stellar population of a sample of 59 nearby active galaxies, comprising thirty-seven Seyfert 2s and twenty-four radio-galaxies. This study includes also a control sample of 36 non-active galaxies, comprising eleven ellipticals, seven lenticulars and eighteen spirals. The analysis was performed using high signal-to-noise ratio long-slit optical spectra obtained in telescopes with apertures ranging from 1.5m to 4m. The sampled regions in the extractions correspond at the galaxies to 100-2000 pc, with a mean of 800 pc.

With the goal of verifying if there is a relation between the presence of recent star formation and nuclear activity in the center of galaxies, the technique of spectral synthesis was applied in order to derive the age of the stellar population. In addition, the effect of the presence of an active nucleus in the nuclear equivalent widths was also investigated, comparing the extranuclear values with those at the nucleus.

One of the main contributions of the present work is to include a control sample of non-active galaxies, matched in host galaxy luminosity and Hubble types to the active galaxy sample, whose stellar populations were analysed using the same technique applied to the active galaxies. The study of the control sample allowed to quantify the differences in the stellar populations and continua between the active and non-active galaxies.

The main results are:

A large fraction of Seyfert 2 galaxies presents recent star formation (with ages of 100 Myrs or less), at the nucleus and in the circumnuclear regions. The radio-galaxies are dominated by contributions from old and intermediate age populations (10 and 1 Gyrs); the contribution of the younger populations is significative in only 10% of the studied objects.

In several aspects, Seyfert 2s and radio-galaxies present different stellar populations and continua. Seyferts have a larger diversity of ages of the stellar populations and internal reddening gradients than the radio-galaxies.

Seyfert 2s usually have larger contribution of young stars, showing also a larger diversity in the stellar populations than those of non-active lenticular and spiral galaxies. Radio-galaxies have similar internal reddening gradients to those of non-active elliptical and lenticular galaxies, but the average ages are slightly younger than in non-active galaxies. In particular, the radio-galaxies have a larger contribution of intermediate age stellar populations.

None Fanaroff-Riley type I radio-galaxy has significant contribution of young stellar populations, while one or two radio-galaxies FR II have such contributions. This result suggests a difference between stellar populations of the FRI and FR II radio-galaxies but this result should be further investigated using a larger sample of radio-galaxies.

In the Seyfert 2 galaxies, the results are consistent with the idea of an evolutionary picture, where interactions between galaxies could induce gas infall to the nucleus, triggering episodes of star-formation and the nuclear activity. When the star formation is dominant, the interaction signatures would still be seen and the spectrum would show features characteristic of young stars and values for the emission line ratios between those of Seyfert 2 and Starburst galaxies. When the young stars fade, the spectrum would show features of an older stellar population and emission lines typical of Seyfert 2 galaxies.

In this picture, the diversity of stellar populations found for the Seyferts could be explained by different evolutive stages of the interaction. Another important factor seems to be the availability of gas: the triggering of star-formation episodes can only occur if there is plenty of gas to form new stars.

If the above scenario is also applicable for the radio-galaxies, then in this case the interactions would be older (1 Gyrs old) suggesting a larger delay between the triggering of star formation and the onset of the radio activity than between the triggering of star formation and the onset of the Seyfert activity.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Galáxias com núcleo ativo	1
1.1.1 Galáxias Seyfert	1
1.1.2 Rádio-galáxias	3
1.2 Formação estelar versus atividade nuclear	4
1.3 Objetivos	9
2. Dados e observações	11
2.1 Galáxias Seyfert 2	11
2.2 Rádio-galáxias	16
2.3 Galáxias não ativas	16
3. Variação radial das larguras equivalentes e de razões do contínuo	24
3.1 Galáxias Seyfert	27
3.1.1 Observadas no KPNO	27
3.1.2 Observadas no CTIO	28
3.2 Rádio-galáxias	43
3.3 Galáxias não ativas	43
3.3.1 Galáxias elípticas	43
3.3.2 Galáxias lenticulares	43
3.3.3 Galáxias espirais	53
4. Síntese espectral de populações estelares	62
4.1 Novas características espectrais (Raimann et al. 2001)	62
4.2 Testes e limitações	63
4.2.1 Algoritmo utilizado no trabalho atual	65
4.3 Parâmetros utilizados neste trabalho	67
4.4 Espectros sintéticos	68
5. Resultados da Síntese	69
5.1 Galáxias Seyfert	69
5.1.1 Amostra observada no KPNO	69
5.1.2 Amostra observada no CTIO	75

5.2	Rádio-galáxias	82
5.3	Galáxias não ativas	85
5.3.1	Galáxias elípticas	85
5.3.2	Galáxias lenticulares	87
5.3.3	Galáxias espirais	88
6.	Sistematização dos resultados e discussão	90
6.1	Rádio-galáxias versus galáxias elípticas e lenticulares não ativas	90
6.2	Galáxias Seyfert 2 versus galáxias lenticulares e espirais não ativas	100
7.	Conclusões	109
7.1	Perspectivas futuras	112
7.1.1	Quebra de degenerescência entre FC e componente 3M e entre idade e metalicidade	112
7.1.2	Observações mais profundas	112
7.1.3	Ampliação da amostra de rádio-galáxias	113
A.	Resultados da síntese	114
B.	Espectros sintéticos e originais corrigidos por avermelhamento	140
	Referências	156

Relação de Figuras

1.1	Espectros óticos de uma galáxia Seyfert 1 (a) e de uma Seyfert 2 (b).	2
1.2	Modelo unificado das galáxias Seyfert (Fig. 7.1 de Peterson, 1997, com algumas modificações).	3
1.3	Espectros óticos de rádio-galáxias BLRG (a), NLRG (b) e WLRG (c) e (d).	5
1.4	Morfologia rádio FR II (Cygnus A, imagem da direita) e FRI (3C31, esquerda). Imagens de arquivo do “National Radio Astronomy Observatory / Associated Universities, Inc. / National Science Foundation”.	6
2.1	Espectros nucleares e extranucleares de três galáxias Sy2 da amostra, mostrando populações diferenciadas, tanto de uma galáxia para outra, quanto entre extrações dentro da mesma galáxia.	13
2.2	Comparação entre as magnitudes absolutas dos AGNs e galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble. Na direita estão as Sy2 versus galáxias não ativas lenticulares e espirais, e na esquerda estão as rádio-galáxias versus galáxias não ativas lenticulares e elípticas.	18
2.3	Espectros nucleares e extranucleares de três galáxias não ativas da amostra. A galáxia NGC5061 (a) tem tipo de Hubble E0, a NGC6684 (b) é uma S0 e a NGC6925 (c) é uma Sbc.	23
3.1	Pontos do pseudo-contínuo (círculos pretos) e limites das janelas espectrais onde foram medidas as larguras equivalentes (linhas verticais tracejadas).	26
3.2	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. O primeiro painel mostra W_{wlb} (linha sólida) e $W_{H\beta}$ (pontilhada), o segundo W_{CaIIK} (sólida) e $W_{CaIIR+H\epsilon}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e $W_{bandaCN}$ (pontilhada). O quarto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 4510 e 4020\AA . No quinto painel tem-se o brilho superficial em 4020\AA (em unidades de $10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \text{ arcsec}^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam em cada galáxia a distância espacial de 1 kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3kpc.	29

- 3.3 **Galáxias Seyfert 2 (KNPO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2. 30
- 3.4 **Galáxias Seyfert 2 (KNPO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2. 31
- 3.5 **Galáxias Seyfert 2 (KNPO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2. 32
- 3.6 **Galáxias Seyfert 2 (KNPO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2. 33
- 3.7 **Galáxias Seyfert 2 (CTIO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. O primeiro painel mostra W_{wlb} (linha sólida) e W_{H9} (pontilhada), o segundo W_{CaIIK} (sólida) e $W_{CaI IH+H\epsilon}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e $W_{bandaCN}$ (pontilhada) e o quarto $MgI+MgH$ (sólida) e NaI (pontilhada). O quinto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 5870 e 4020\AA . No sexto painel tem-se o brilho superficial em 4020\AA (em unidades de $10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \text{ arcsec}^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam a distância espacial em cada galáxia de 1kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3kpc . 36
- 3.8 **Galáxias Seyfert 2 (CTIO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. 37
- 3.9 **Galáxias Seyfert 2 (CTIO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. 38
- 3.10 **Galáxias Seyfert 2 (CTIO):** variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. 39

3.11	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	40
3.12	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	41
3.13	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	44
3.14	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	45
3.15	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	46
3.16	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	47
3.17	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	48
3.18	Rádio-galáxias: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7. .	49
3.19	Galáxias elípticas não ativas: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	50
3.20	Galáxias elípticas não ativas: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	51
3.21	Galáxias elípticas não ativas: variação radial das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	52

3.22	Galáxias lenticulares não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	54
3.23	Galáxias lenticulares não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	55
3.24	Galáxias espirais não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	56
3.25	Galáxias espirais não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	57
3.26	Galáxias espirais não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	58
3.27	Galáxias espirais não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	59
3.28	Galáxias espirais não ativas: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.	60
4.1	Larguras equivalentes das novas características espectrais W_{wlb} , W_{H9} e W_{CaHK} , em função da idade e metalicidade.	64
5.1	Galáxias Seyfert 2 (KPNO): resultados da síntese: contribuição percentual ao fluxo em 4020\AA das componentes de diferentes idades, em função da distância angular ao centro da galáxia. Linhas verticais pontilhadas correspondem à distância de 1 kpc do centro e as tracejadas à distância de 3 kpc.	71
5.2	Galáxia Seyfert 2 NGC1068 (KPNO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	72

5.3	Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares: NGC5929, dominada pela população de 10G; Mrk1073, com importante contribuição da população de 1G; Mrk273, dominada pela população de 100M+10M e Mrk477, dominada pela população de 3M/FC.	74
5.4	Como na Fig.5.3, para NGC1068 e duas regiões de formação estelar (“knots” C e J).	75
5.5	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	77
5.6	Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares: MCG-05-27-013, dominada pela população de 10G; Mrk607 tem importante contribuição da população de 1G e NGC5135 é dominada pelas populações de 100M e mais jovens.	79
5.7	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	83
5.8	Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para rádio-galáxias com diferentes populações estelares: AM2158-380, dominada pela população de 10G e ESO075-G41, com importante contribuição da população 3M/FC no núcleo.	84
5.9	Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	87
6.1	Rádio-galáxias – população nuclear, 1kpc e 3kpc do núcleo: Número de galáxias em função da contribuição para o fluxo total em 4020Å de populações de diferentes idades. No painel superior esquerdo, a idade da população é de 10^{10} anos (10G), no painel superior direito, 10^9 anos (1G), no painel inferior esquerdo, $10^8 + 10^7$ anos (100M+10M) e no painel inferior direito, $3 \cdot 10^6$ anos mais a contribuição de FC (3M/FC).	91
6.2	Rádio-galáxias – galáxias FRI versus FRII/?: mesmo formato da Fig. 6.1.	93
6.3	Rádio-galáxias versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – população nuclear: mesmo formato da Fig. 6.1.	95
6.4	Rádio-galáxias versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – 1kpc do núcleo: mesmo formato da Fig. 6.1.	96
6.5	Galáxias Seyfert – população nuclear e 1kpc do núcleo: mesmo formato da Fig. 6.1.	99
6.6	Galáxias Seyfert versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – população nuclear: mesmo formato da Fig. 6.1.	101
6.7	Galáxias Seyfert versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – 1kpc do núcleo: mesmo formato da Fig. 6.1.	102

A.1	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	115
A.2	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	116
A.3	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	117
A.4	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	118
A.5	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	119
A.6	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	120
A.7	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	121
A.8	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	122
A.9	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	123
A.10	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	124
A.11	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	125
A.12	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	126
A.13	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	127
A.14	Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	128
A.15	Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	129
A.16	Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	130
A.17	Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	131
A.18	Galáxias lenticulares não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	132
A.19	Galáxias lenticulares não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	133
A.20	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	134
A.21	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	135
A.22	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	136

A.23	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	137
A.24	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	138
A.25	Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.	139
B.1	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	141
B.2	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	142
B.3	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	143
B.4	Galáxias Seyfert 2 (KNPO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	144
B.5	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	145
B.6	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	146
B.7	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	147
B.8	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	148
B.9	Galáxias Seyfert 2 (CTIO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	149
B.10	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	150
B.11	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	151
B.12	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	152
B.13	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	153
B.14	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	154
B.15	Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.	155

Relação de Tabelas

2.1	Amostra de galáxias Seyfert 2.	14
2.2	Galáxias Seyfert 2 observadas no telescópio Blanco do CTIO.	15
2.3	Galáxias Seyfert 2 observadas no telescópio Mayall do KPNO.	15
2.4	Amostra de rádio-galáxias.	17
2.5	Rádio-galáxias observadas no telescópio NTT do ESO.	17
2.6	Amostra de galáxias lenticulares e espirais não ativas.	20
2.7	Amostra de galáxias elípticas não ativas.	20
2.8	Galáxias lenticulares, espirais (primeira parte da tabela) e elípticas (segunda parte) não ativas observadas no telescópio de 1,5m do ESO.	21
2.9	Galáxias espirais não ativas observadas no telescópio de 1,5m do CTIO.	21
2.10	Galáxias lenticulares não ativas observadas no telescópio Blanco do CTIO.	21
2.11	Galáxias elípticas não ativas observadas no telescópio NTT do ESO.	21
3.1	Galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO: porcentagem de diluição das larguras equivalentes nucleares de CaIIK e banda G em relação àquelas a 1kpc do núcleo.	34
3.2	Galáxias Seyfert 2 observadas no CTIO: porcentagem de diluição das larguras equivalentes nucleares de CaIIK, banda G e MgI+MgH, em relação àquelas a 1kpc do núcleo.	35
3.3	Resumo das larguras equivalentes nucleares medidas, por amostras de objetos.	61
4.1	Larguras equivalentes das novas características espectrais W_{wlb} , W_{H9} e W_{CaIIK} , em função da idade e metalicidade.	63
4.2	Elementos da base no plano idade-metalicidade.	67
5.1	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO. No primeiro grupo estão as S0, no segundo as Sa-Sb, no terceiro as Sbc e no quarto as de tipo morfológico incerto.	70
5.2	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias Seyfert 2 observadas no CTIO. No primeiro grupo estão as S0-S0/a, no segundo as Sa-Sab-Sb, no terceiro as Sc e no quarto as de tipo morfológico incerto.	76
5.3	Síntese restrita para as Seyfert 2 observadas no CTIO: resultados	81

5.4	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as rádio-galáxias. No primeiro grupo estão as FRI, no segundo as FRII e no terceiro as de tipo intermediário, compacto ou incerto.	86
5.5	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias elípticas não ativas.	88
5.6	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias lenticulares não ativas.	88
5.7	Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias espirais não ativas.	89
6.1	Rádio-galáxias e galáxias elípticas e lenticulares não ativas: contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020Å das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC.	92
6.2	Galáxias Seyfert e galáxias lenticulares e espirais não ativas: contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020Å das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.	100
6.3	Número de galáxias Seyfert e não ativas em função do avermelhamento interno nuclear e dos sub-grupos morfológicos.	105
6.4	Galáxias Seyfert e galáxias não ativas: amplitude total de variação (AT) da contribuição para o fluxo total em 4020Å das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.	105
6.5	Galáxias Seyfert com e sem companheiras: contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020Å das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.	106

Capítulo 1

Introdução

1.1 Galáxias com núcleo ativo

Galáxias com núcleo ativo (“active galactic nuclei”, AGNs) são aquelas em que os fenômenos de emissão de energia do núcleo, ou região central, não podem ser atribuídos claramente e diretamente às estrelas. As duas maiores subclasses de AGNs são as galáxias Seyfert, cuja energia emitida pela fonte central no visível é comparável à energia emitida por todas as estrelas da galáxia ($\approx 10^{11} L_{\odot}$), e os quasares, pelo menos 100 vezes mais brilhantes. Além destes, outros AGNs são as rádio-galáxias, LINERs (“Low-ionization Nuclear Emission-line Regions”), objetos BL Lac, Variáveis violentas óticas e galáxias de raios-X de linhas estreitas.

Uma questão fundamental sobre esse tipo de galáxias é a origem da energia emitida. Um AGN produz uma quantidade de radiação comparável à emitida por trilhões de estrelas, a partir de um volume que é bem menor do que um parsec cúbico. O paradigma atual é de uma “máquina central”, que consiste de um disco de acreção quente ao redor de um buraco negro super-massivo. Nesse cenário, a energia é gerada pela perda de energia gravitacional de matéria, que cai em direção ao buraco negro central formando um disco de acreção dissipativo, onde a matéria é aquecida a temperaturas muito altas.

1.1.1 Galáxias Seyfert

O primeiro espectro observado de uma galáxia Seyfert foi o da NGC1068, obtido por Fath em 1909¹, onde encontrou a presença de fortes linhas de emissão. Depois, Slipher obteve espectros de melhor qualidade e viu que essas linhas de emissão pareciam-se com as linhas das nebulosas planetárias. Além disso, chegou à conclusão que as larguras das linhas eram de centenas de quilômetros por segundo. Seyfert (1943) percebeu que existiam várias galáxias com essas características e que formavam uma classe de objetos. Obtendo espectros óticos de um conjunto de objetos com alto brilho superficial central, percebeu que esses espectros eram dominados por linhas de emissão nucleares de alta excitação, com linhas largas e, em alguns casos, as linhas do hidrogênio eram mais largas que as outras.

¹ Tese de doutorado intitulada *The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters*.

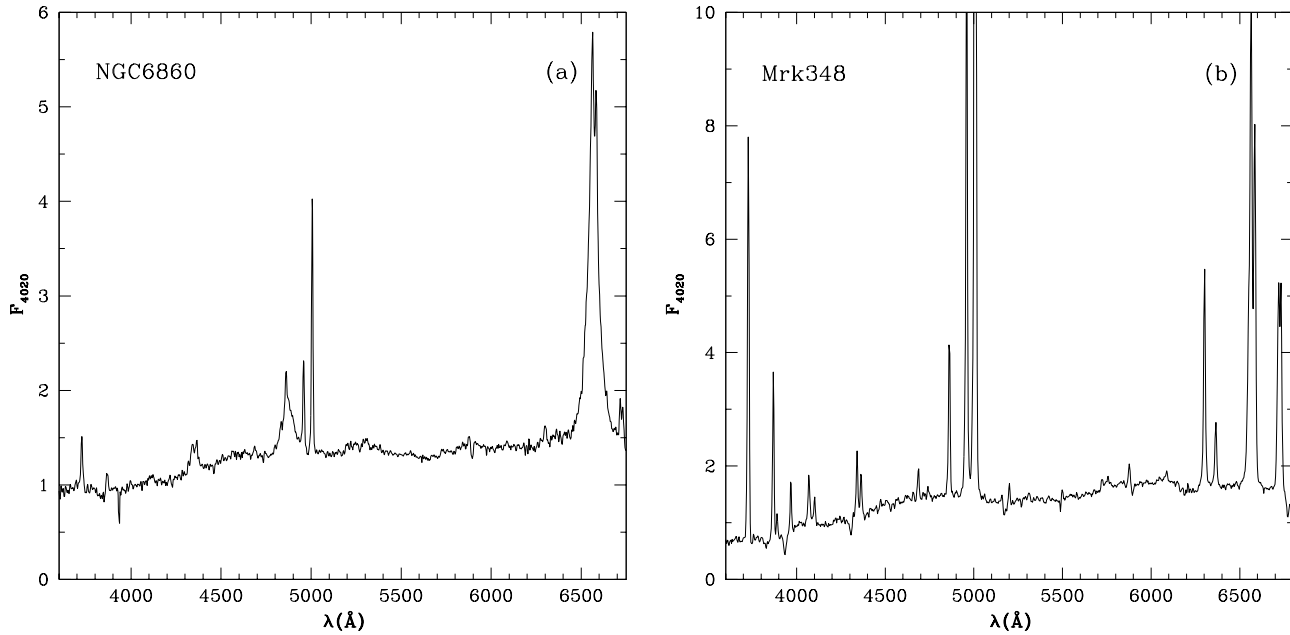


Fig. 1.1: Espectros óticos de uma galáxia Seyfert 1 (a) e de uma Seyfert 2 (b).

Atualmente sabe-se que galáxias Seyfert são AGNs de baixa luminosidade. Elas têm um núcleo semelhante a um quasar (“quasi-stellar radio sources”), mas a galáxia hospedeira é claramente detectável. São identificadas espectroscopicamente através das fortes linhas de emissão de alta excitação. Esta classe de AGNs divide-se em duas subclasses, que diferenciam-se devido à presença ou ausência de bases largas nas linhas de emissão permitidas. As galáxias Seyfert de tipo 1 (Seyfert 1, ou Sy1) têm dois conjuntos de linhas de emissão, superpostos um ao outro. Um deles é característico de um gás ionizado de baixa densidade (densidade eletrônica de 10^3 a 10^6 cm^{-3}), com larguras correspondendo a velocidades de centenas de quilômetros por segundo (um pouco mais largas do que as encontradas em galáxias não ativas). O outro conjunto de linhas têm larguras de cerca de 10^4 km s^{-1} e só apresenta linhas permitidas, o que indica que as linhas largas são emitidas por um gás de alta densidade (pelo menos 10^9 cm^{-3}). Já as galáxias Seyfert de tipo 2 (Seyfert 2, ou Sy2) só apresentam linhas estreitas nos seus espectros.

Além das fortes linhas de emissão, os espectros das Seyfert 1 e 2 apresentam linhas de absorção, devido à população estelar da galáxia hospedeira. As linhas de absorção são muitas vezes diluídas por um contínuo não estelar sem características espectrais (“featureless continuum”, FC), devido à radiação da fonte ionizante.

Na Fig. 1.1 estão exemplificados os dois tipos de galáxias Seyfert. No painel (a) está o espectro da galáxia NGC6860, uma Sy1, que apresenta as linhas permitidas H_α (6563 \AA), H_β (4861 \AA), H_γ (4340 \AA) e H_δ (4101 \AA) alargadas, e no painel (b) o espectro da Mrk348, onde só aparecem linhas estreitas.

De acordo com o modelo unificado, o que diferenciaria as Sy1 das Sy2 seria simplesmente

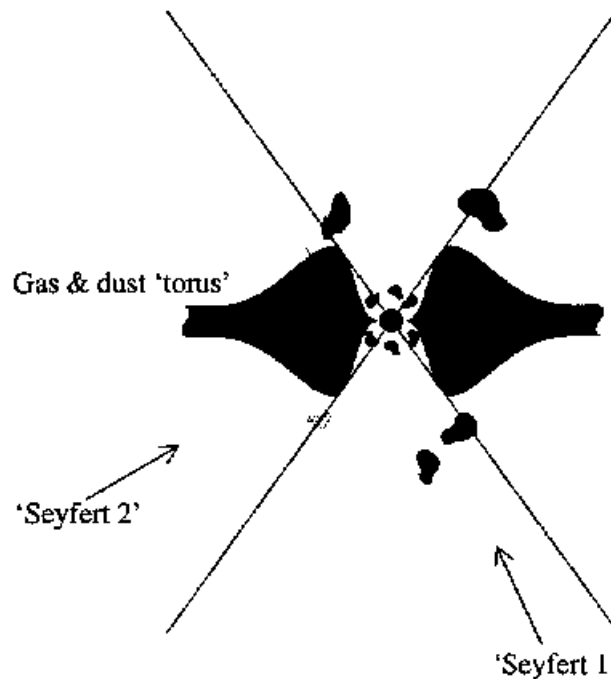


Fig. 1.2: Modelo unificado das galáxias Seyfert (Fig. 7.1 de Peterson, 1997, com algumas modificações).

um efeito da sua geometria e orientação (Fig. 1.2). As galáxias Seyfert teriam um toro de poeira ao redor da região nuclear e as linhas largas seriam formadas em um gás mais interno, totalmente absorvidas quando a região nuclear fosse observada de uma direção que intercepta o toro (Sy2). As linhas largas só seriam vistas quando o toro estivesse perpendicular à linha de visada do observador, caso das Sy1. Já as linhas estreitas seriam sempre vistas, pois a sua região de formação seria mais externa e, portanto, não absorvida pelo toro.

1.1.2 Rádio-galáxias

São galáxias com forte emissão nos comprimentos de onda rádio, sendo geralmente galáxias elípticas gigantes. Dois tipos de rádio-galáxias têm espectros óticos que se identificam com aqueles de Seyferts, as rádio-galáxias de linhas largas (BLRGs) e as rádio-galáxias de linhas estreitas (NLRGs), análogas respectivamente às galáxias Seyfert tipo 1 e 2. As galáxias Seyfert são a contra-partida com pouca emissão rádio das rádio-galáxias, e além disso, apresentam-se geralmente em galáxias espirais, enquanto que as rádio-galáxias estão em galáxias elípticas. Ainda quanto ao espectro ótico, existem rádio-galáxias que não apresentam linhas de emissão ou apresentam linhas de emissão muito fracas, e são conhecidas como rádio-galáxias de linhas fracas (WLRGs).

Na Fig. 1.3 são mostrados os espectros óticos destes três tipos de rádio-galáxias. No

painel (a) está o espectro da galáxia Pictor A, uma BLRG, que apresenta as linhas permitidas alargadas, semelhantes ao que é visto no espectro das Sy1. No painel (b) está o espectro da PKS B2013-557, com forte emissão, mas onde só aparecem linhas estreitas. Nos painéis (c) e (d) estão as galáxias NGC612, com emissão bastante fraca (onde somente H_α , $[\text{NII}]\lambda\lambda 6548,84$ e $[\text{SII}]\lambda\lambda 6717,31$ aparecem em emissão), e ESO350-G15, sem emissão.

Freqüentemente as rádio-galáxias apresentam uma estrutura estendida de emissão rádio, com jatos saindo do centro e lobos nas suas extremidades. Quanto à morfologia desta emissão, elas podem ser classificadas em Fanaroff-Riley tipo I e II (FRI e FRII). As rádio-galáxias FRI apresentam a região central brilhante e os lobos escurecidos, enquanto que as FRII apresentam os lobos bastante brilhantes. Essas duas classes morfológicas representam também dois grupos distintos quanto à luminosidade rádio. Em geral as FRI são menos luminosas, enquanto que as FRII são mais luminosas. De acordo com Bridle & Perley (1984), a luminosidade específica limite entre as duas classes é $L_\nu(1.4\text{GHz})=10^{32} \text{ ergs s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$. Na Fig. 1.4 são mostrados exemplos de rádio-galáxias FRI e FRII. Na direita está a FRII Cygnus A e na esquerda a FRI 3C31. As imagens são observações do contínuo rádio em 5GHz e 1.4GHz, respectivamente, e fazem parte do arquivo do “National Radio Astronomy Observatory / Associated Universities, Inc. / National Science Foundation”.

1.2 Formação estelar versus atividade nuclear

A luz das estrelas foi, historicamente, vista por observadores de AGNs como uma poluição inconveniente. Conseqüentemente, a informação contida nas características estelares foi, durante muito tempo, largamente omitida. Desde os primeiros estudos na década de 70, o método empregado para remover esta “contaminação” estelar foi representá-la por um “template” de galáxia elíptica e subtraí-la do espectro observado, restando o “puro” AGN como um resíduo. Hoje sabemos que não é tão simples representar essa população. Vários estudos têm mostrado a presença de formação estelar recente próxima à região nuclear de galáxias Seyfert (Dottori & Pastoriza 1986; Cid-Fernandes, Storchi-Bergmann & Schmitt 1998; Storchi-Bergmann, Cid-Fernandes & Schmitt 1998; Schmitt, Storchi-Bergmann & Cid-Fernandes 1999; Storchi-Bergmann et al. 2000; Heckman et al. 1997; González-Delgado et al. 1998; Raimann et al. 2001, 2003) e de rádio-galáxias (Aretxaga et al. 2001; Tadhunter et al. 2002; Wills et al. 2002, 2004).

A luz estelar constitui uma importante fração da radiação ótica de AGNs de baixa luminosidade, tais como galáxias Seyfert, LINERs e rádio-galáxias, permitindo o estudo das populações estelares na região nuclear e extranuclear das galáxias hospedeiras, fundamental para o entendimento da origem do fenômeno AGN. No universo próximo, galáxias com muita formação estelar recente, conhecidas como “Starburst”, e com núcleos ativos compartilham uma característica fundamental: ambas são dependentes do gás – combustível para o nascimento de novas estrelas nas galáxias Starburst e para alimentar o buraco negro nuclear nos AGNs. Se existe gás caindo na direção do núcleo, ele pode, em algum momento,

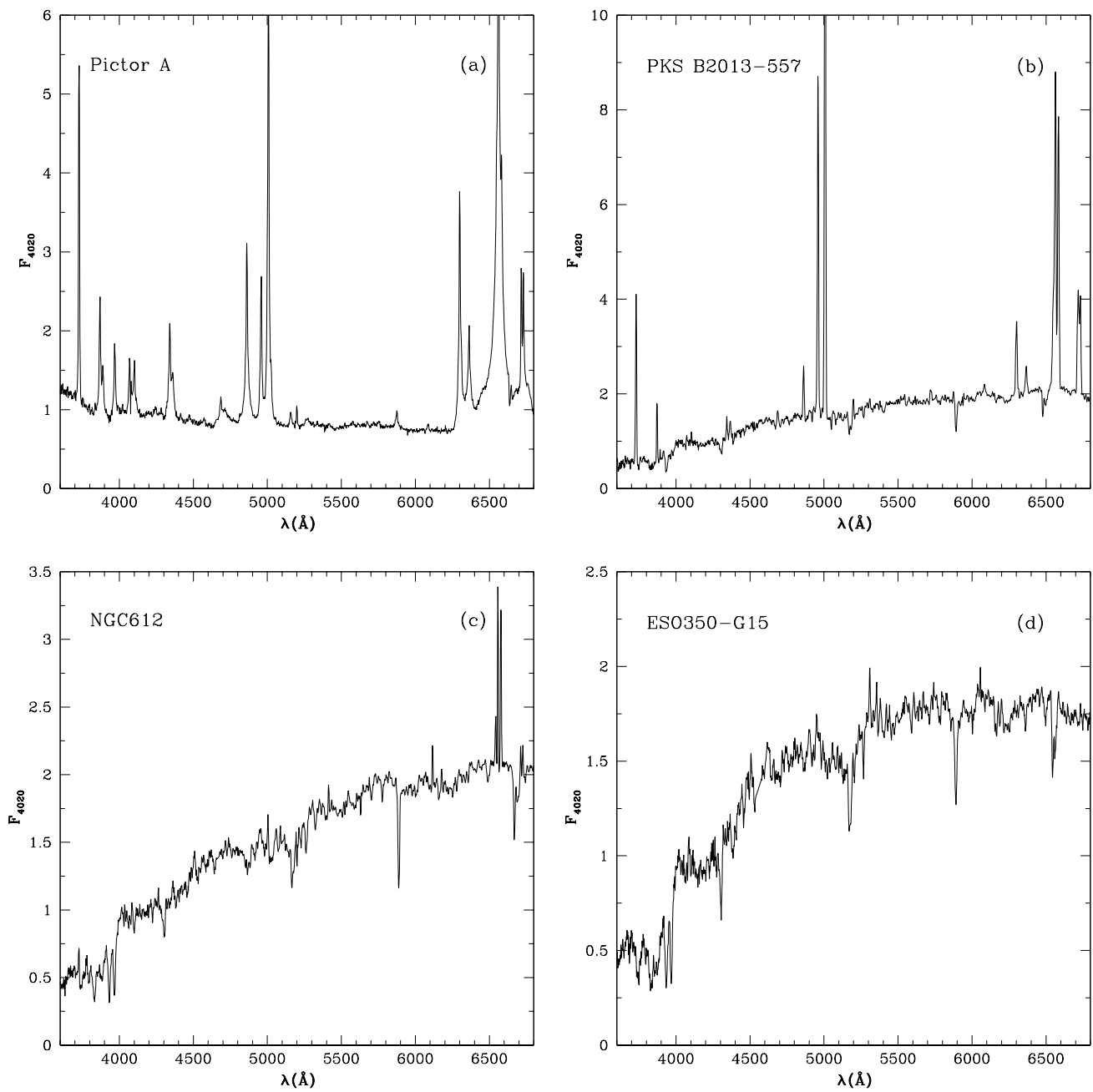


Fig. 1.3: Espectros óticos de rádio-galáxias BLRG (a), NLRG (b) e WLRG (c) e (d).

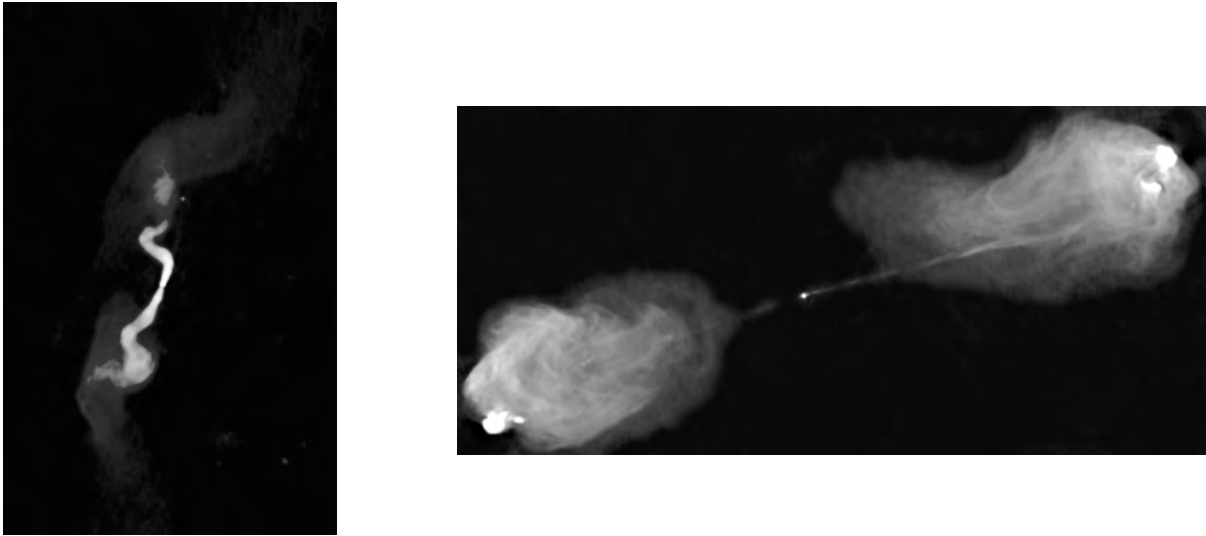


Fig. 1.4: *Morfologia rádio FR II (Cygnus A, imagem da direita) e FR I (3C31, esquerda). Imagens de arquivo do “National Radio Astronomy Observatory / Associated Universities, Inc. / National Science Foundation”.*

disparar a formação estelar. Essa é a essência de modelos híbridos “starburst”+AGN propostos por Perry & Dyson (1985) e Norman & Scoville (1988). Interações de jatos com o meio interestelar (ISM) podem também disparar a formação estelar na vizinhança do buraco negro (Bicknell et al. 2000).

Tal relação parece ter sido encontrada em estudos realizados por Storchi-Bergmann e colaboradores sobre populações estelares em AGNs (Cid-Fernandes et al. 1998; Storchi-Bergmann et al. 1998; Schmitt et al. 1999), utilizando o método de síntese espectral de populações estelares (Bica & Alloin 1986a,b; Bica 1988). Nestes estudos, com resolução espacial, tentaram desvendar questões como: quais são as conexões entre atividade nuclear e formação estelar? Que fração das galáxias Seyfert e das rádio-galáxias exibe sinais de formação estelar recente? Quais são as idades das estrelas ao redor e no AGN? O AGN evolui junto com suas estrelas vizinhas?

Nos trabalhos acima citados foi revisada a abordagem tradicional, tendo-se focalizado a análise na luz estelar. Espectros de fenda longa, com alta razão sinal/ruído (S/N), obtidos com o telescópio de 4m Blanco do Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO, Chile), no intervalo espectral 3500-7000Å, foram usados para estudar a variação das larguras equivalentes das características de absorção CaIIK e H, CN, banda G, MgI+MgH e NaI e cores do contínuo, em função da distância ao núcleo, em AGNs. A informação espacial é importante, já que permite obter um “template” para a luz estelar a partir dos espectros vizinhos ao nuclear, pois o contínuo AGN pode diluir o espectro estelar no núcleo. Isto

de fato acontece em galáxias Sy1, mas para Sy2, Cid-Fernandes et al. (1998) encontraram que as linhas de absorção mostram pouca (<10%) ou nenhuma diluição com relação a seu valor a 3-5'' do núcleo. Esses dados foram complementados com uma minuciosa análise da população estelar para examinar o conteúdo estelar dos AGNs. Os principais resultados foram: (1) as populações estelares em AGNs são variadas, e na maioria dos casos não podem ser adequadamente representadas por templates de galáxias elípticas; (2) o uso de templates de galáxias elípticas é responsável por uma série de problemas como a presença do controverso “segundo contínuo *featureless*” (FC2) em Sy2. Concluíram que este contínuo é resultado da representação inadequada da população estelar. (3) Finalmente, o kiloparsec central dos AGNs parece conter proporções substancialmente maiores de estrelas com idades ≤ 100 milhões de anos do que galáxias elípticas ou não ativas de mesmo tipo de Hubble, apontando para uma forte conexão entre formação estelar e atividade nuclear.

Em outro trabalho, González-Delgado, Heckman & Leitherer (2001) estudaram as regiões nuclear e circumnuclear de 20 das galáxias Seyfert 2 mais brilhantes no UV próximo e ótico. Chegaram às seguintes conclusões: em oito das regiões nucleares as linhas estelares são similares às de uma população velha, sendo que dessas oito, em quatro é requerida a presença de luz espalhada (contínuo FC) por um núcleo escondido, para conseguir o ajuste do espectro; em seis das regiões nucleares existem fortes linhas de Balmer em absorção no UV próximo (características de populações de idades jovem e intermediária); outras três mostram fortes linhas de Balmer em absorção na região circumnuclear e na região nuclear quando a contribuição nebular é subtraída; as últimas três apresentam na região nuclear uma característica de emissão larga ao redor de 4880 Å, que pode ser devido a estrelas Wolf-Rayet (jovens), mas outras evidências têm que ser agregadas a estas. Comparações com o núcleo da NGC7714 (protótipo de núcleo “starburst”) mostram que cerca da metade dos objetos estudados têm espectros nucleares similares aos de um núcleo “starburst”.

Joguet et al. (2001) obtiveram resultados semelhantes no estudo da população circumnuclear de 79 Sy2, concluindo que cerca 50% das galáxias hospedeiras apresentam estrelas jovens.

Nas rádio-galáxias, a natureza de contínuo UV/ótico é uma das chaves para o seu entendimento (Tadhunter et al. 1996). Enquanto a baixos “redshifts” existem evidências de que muitas rádio-galáxias são dominadas no ótico por luz de estrelas velhas, características de galáxias “early-type” (Yee & Oke 1978), em altos “redshifts” a característica dominante é um excesso de luz no UV (Lilly & Longair 1984), freqüentemente associado com estruturas que estão alinhadas aos eixos das estruturas rádio em grande escala (McCarthy et al. 1987).

Inicialmente esse excesso foi interpretado como devido a episódios intensos de formação estelar, associados a evolução estelar das galáxias hospedeiras (Lilly & Longair 1984). Entretanto, as descobertas dos alinhamentos entre as estruturas UV e rádio modificaram essa idéia. Rees (1989) propôs que a formação estelar é iniciada pela passagem do jato rádio através do ISM das galáxias hospedeiras. Essa idéia tem a seu favor o fato de reproduzir as cores UV/ótico/IR com uma combinação de uma população velha evoluída com uma

componente “starburst” nuclear (Chambers & Charlot 1990). Entretanto o nível de significância das detecções não era alto e as características poderiam originar-se no ISM e não nas fotosferas estelares. Na única rádio-galáxia onde a população estelar jovem tinha sido detectada até então sem ambigüidades, as linhas de absorção de Balmer e o salto de Balmer eram consistentes com uma população de estrelas de tipo A.

Como uma alternativa à formação estelar, Tadhunter et al. (1988) e Fabian (1989) propuseram um modelo no qual o excesso UV representa a luz espalhada de um campo de radiação anisotrópico de um quasar obscurecido. Essa componente deve se apresentar, segundo o modelo, como uma contribuição de luz polarizada ao contínuo das rádio-galáxias. Existem evidências significativas a favor desta hipótese na forma da polarização linear de 5-20%, com os vetores E orientados perpendicularmente aos eixos das regiões estendidas UV e rádio (Tadhunter et al. 1992).

A natureza do excesso UV começou a ser compreendida melhor, a partir de um trabalho de 1996, quando Tadhunter e colaboradores fizeram um estudo detalhado do contínuo ótico da rádio-galáxia 3C321, uma FR II com “redshift” $z=0,096$. O contínuo desta galáxia tem origem multicomponente, onde uma população velha (15 bilhões de anos) contribui com 34% do fluxo (em 3639Å), uma população intermediária (1 bilhão de anos) contribui com outros 34%, a luz espalhada oriunda de um quasar obscurecido (detectada através de espectropolarimetria) contribui com 22% e o contínuo nebuloso com 10%.

Em um trabalho mais recente, Tadhunter et al. (2002), através de técnicas de espectropolarimetria e de modelos de síntese evolutiva, analisaram os espectros óticos de uma amostra de 22 rádio-galáxias intensas (em sua maioria FR II) com z intermediário (entre 0,15 e 0,7). Identificaram que todas as galáxias da amostra apresentam excesso UV. A luz espalhada oriunda do quasar obscurecido contribui de forma discreta (nunca maior do que 10%) em 32% dos objetos. Os principais responsáveis pelo excesso UV são: o *contínuo nebuloso*, com uma contribuição em todos os objetos que varia de 3 a 40% do fluxo em 3600Å; a *luz que vem diretamente do núcleo* (detectada através das linhas largas no espectro ótico), em 40% dos objetos; e a *luz de uma população jovem e/ou intermediária (0,1 a 2 bilhões de anos)* preponderante em 15 a 50% dos objetos.

Em rádio-galáxias mais próximas, três trabalhos podem ser tomados como referência atualmente. No primeiro, Aretxaga et al. (2001) estudaram 7 rádio-galáxias (em sua maioria FR II) com $z < 0,08$, sendo que 3 destas apresentam excesso UV. Uma das que apresentam o excesso é uma BLRG e portanto, o principal responsável pelo excesso UV é a luz que vem diretamente do núcleo. Nas outras duas encontraram, utilizando modelos de síntese evolutiva, que o excesso UV deve-se à população estelar jovem (da ordem de dezenas de milhões de anos). As 4 galáxias que não apresentam excesso UV têm populações típicas de galáxias elípticas.

No trabalho de Wills et al. (2002) uma amostra de 9 rádio-galáxias (em sua maioria FR II), com $0,05 < z < 0,2$, é estudada. Este trabalho é complementar àquele de Tadhunter et al. (2002), para uma amostra de menor “redshift”. Encontram excesso UV em 4 objetos da

amostra, sendo um destes uma BLRG. Nas outras três que apresentam o excesso, a principal responsável é uma população de idade jovem e/ou intermediária (0,05 a 2 bilhões de anos). As 4 galáxias que não apresentam excesso UV têm populações típicas de galáxias elípticas. O contínuo nebuloso tem uma contribuição que varia de 0 a 26% do fluxo em 3600Å, e não foi encontrada contribuição significativa de luz espalhada oriunda de um quasar obscurecido.

Seguindo a série de trabalhos, Wills et al. (2004) estudaram uma amostra de 12 rádio-galáxias FRI com $z < 0,2$. Três destas galáxias apresentam excesso UV e a principal responsável por esse excesso é uma população de idade jovem e/ou intermediária.

A partir destes últimos trabalhos pode-se fazer uma reflexão interessante. O excesso do contínuo UV parece estar correlacionado com o “redshift” das galáxias, visto que não é encontrado com a mesma frequência em rádio-galáxias próximas e distantes. Quanto maior o z , maior a frequência com que são encontrados excessos UV. Além disso, a presença de luz espalhada e, portanto, polarizada, também correlaciona-se com z , já que esta componente exerce um papel importante em rádio-galáxias distantes, um papel um pouco menos marcante em objetos com z intermediário e quase nenhuma influência em objetos próximos. Um motivo para essas correlações ocorrerem pode ser o fato de que para “redshifts” maiores estão sendo estudados exclusivamente os objetos mais luminosos, onde mesmo para baixos “redshifts” encontra-se o excesso UV e a luz polarizada.

É importante neste momento estudar uma amostra completa de rádio-galáxias de tipo FRI e FRII, limitada em “redshift” e fluxo rádio. Desta forma pode-se comparar as populações estelares de galáxias com diferentes morfologias rádio e verificar se apresentam diferenças significativas.

Também é necessário estender esses estudos para regiões extranucleares e verificar se o AGN exerce alguma influência na população estelar destas regiões. Por fim, faz-se necessária uma comparação entre a população de galáxias que hospedam AGNs com aquela de galáxias de mesmo tipo de Hubble que não têm atividade nuclear.

1.3 Objetivos

O principal objetivo do presente trabalho é fazer um estudo da população nuclear e extranuclear de uma amostra significativa de galáxias Seyfert 2 e de rádio-galáxias FRI e FRII. As populações estelares dos AGNs são comparadas àquelas de um grupo de controle, constituído de galáxias não ativas com os mesmos tipos de Hubble dos AGNs. Dessa forma, pretende-se responder às seguintes questões:

- Que fração das galáxias Seyfert 2 e das rádio-galáxias FRI e FRII exibem sinais de formação estelar recente nas regiões nuclear e extranuclear?
- Quais são as idades das estrelas ao redor do AGN?
- O AGN evolui junto com suas estrelas vizinhas?

- Existem diferenças significativas na população estelar nuclear e extranuclear, entre rádio-galáxias de tipo FRI e FR II?
- Existem diferenças significativas na população estelar nuclear e extranuclear, entre galáxias que hospedam um AGN e aquelas não ativas de mesmo tipo de Hubble?
- Quais são as conexões entre atividade nuclear e formação estelar?

Para tanto, foram obtidos espectros óticos de galáxias Seyfert 2, rádio-galáxias FRI e FR II, e galáxias não ativas elípticas, lenticulares e espirais. Foram medidas larguras equivalentes de linhas de absorção e razões do contínuo, grandezas estas que servem como parâmetros de entrada para a síntese espectral da população estelar.

O principal método empregado neste trabalho para o estudo das populações estelares é o método conhecido como “Síntese Espectral de Populações Estelares”, que consiste em tentar reproduzir, a partir de uma base de espectros de aglomerados estelares, características espectrais previamente escolhidas do espectro integrado das galáxias. Este método, que foi inicialmente desenvolvido por Eduardo Bica e Danielle Alloin (Bica & Alloin 1986a,b; Bica 1988) e que posteriormente sofreu várias adaptações para incluir a síntese de pontos do contínuo (Schmitt et al. 1996) e para utilizar um formalismo probabilístico (Cid Fernandes et al. 2001), vem sendo aplicado com grande sucesso em vários estudos de populações estelares de galáxias.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentadas a amostra e as observações; no capítulo 3 estão as medidas de larguras equivalentes, razões do contínuo e a análise dos seus comportamentos, em função da distância ao núcleo das galáxias; nos capítulos 4 e 5 é apresentado o método de síntese espectral de populações e seus resultados; no capítulo 6 os resultados são discutidos e comparados a trabalhos atuais; por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões.

Capítulo 2

Dados e observações

2.1 Galáxias Seyfert 2

A amostra de galáxias Seyfert 2 compreende 27 galáxias com $z < 0,02$ e 10 com $0,02 < z < 0,051$. O critério de seleção comum a todas as galáxias é o limite inferior de luminosidade na linha $[OIII]\lambda 5007$, $L_{[OIII]} > 10^{39}$ ergs s^{-1} . A amostra pode ser considerada representativa das galáxias Seyfert 2 mais próximas.

Na Tab. 2.1 está identificada a amostra de galáxias Sy2, com nome e posição dos objetos (ascensão reta e declinação para o ano 2000), tipo morfológico, magnitude B, $\log L_{[OIII]}$ (em ergs s^{-1}), velocidade radial (km s^{-1}) e avermelhamento $E(B-V)_G$, devido à poeira da nossa galáxia. Os dados referentes a essa tabela foram retirados, em sua maioria, da base de dados extragalácticos “NED”, operada pelo “Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology”, através de contrato com a “National Aeronautics and Space Administration (NASA)”. Os valores para a luminosidade $[OIII]$ vêm de Cid Fernandes et al. (1998) e González Delgado et al. (2001). Para ESO138-G1 e NGC7743, objetos que não fazem parte destes trabalhos, foram medidos os fluxos $[OIII]$ nos espectros observados e calculadas as $L_{[OIII]}$.

As velocidades radiais variam de 740 a 15000 km s^{-1} , mas somente cinco galáxias têm velocidades radiais maiores do que 9000 km s^{-1} . A velocidade radial mediana é 4050 km s^{-1} , o que corresponde a uma escala espacial mediana de ≈ 300 pc/”.

Espectros de fenda longa para estas galáxias foram obtidos nos telescópios de 4m Blanco, do Observatório Interamericano Cerro Tololo (CTIO, Chile), e Mayall, do Observatório Nacional de Kitt Peak (KPNO, EUA), entre 1992 e 1997. Nas Tabs. 2.2 e 2.3 são apresentados alguns dados técnicos, como tempo de exposição total, ângulo de posição da fenda (P.A.), ângulo paraláctico (ψ), massa de ar e escala espacial ($H_0 = 75$ km s^{-1} Mpc $^{-1}$).

Para todas as galáxias Seyfert 2 foram feitas três exposições, com o objetivo de eliminar os raios cósmicos. As imagens foram combinadas, corrigidas por “bias” e “flat-field”, e calibradas em comprimento de onda e em fluxo. Como os espectros foram tomados em telescópios diferentes, com instrumentos e configurações também diferentes, segue uma breve descrição das observações:

- Vinte galáxias (Tab. 2.2, primeira parte) foram observadas através do espectrógrafo

Cassegrain no telescópio Blanco do CTIO, entre maio de 1992 e janeiro de 1994 (Cid-Fernandes et al. 1998). Os espectros cobrem a faixa espectral de 3500 a 7000Å, com uma resolução espectral de 5-8Å. Foi utilizada uma fenda com 2" de largura, orientada ao longo da emissão estendida de cada objeto. Os espectros bidimensionais foram reduzidos utilizando tarefas padrão do IRAF. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 2" na região nuclear (mais brilhante) e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo (regiões menos brilhantes).

- Três galáxias (Tab. 2.2, segunda parte) foram observadas com o mesmo instrumento acima, em maio e setembro de 1997 (Raimann et al., 2001). Os espectros cobrem a mesma faixa espectral, com uma resolução de $\approx 4\text{Å}$. Foi utilizada uma fenda com 1,"5 de largura, orientada ao longo do ângulo paralático, à exceção da galáxia ESO138-G1, observada ao longo do ângulo de posição de 36°. Os espectros bidimensionais foram reduzidos utilizando tarefas padrão do IRAF. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 1,"5 na região nuclear e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo.
- Vinte galáxias (Tab. 2.3) foram observadas através do espectrógrafo Richey-Chrétien no telescópio Mayall do KPNO, em fevereiro e outubro de 1996 (González-Delgado et al. 2001). Os espectros cobrem a faixa espectral de 3600 a 4700Å, com uma resolução de $\approx 3\text{Å}$. Foi utilizada uma fenda com 1,"5 de largura, orientada ao longo do ângulo paralático na maioria dos casos. A exceção foi a galáxia NGC1068, com um ângulo de 123°. Para duas galáxias foram feitas exposições em dois ângulos de posição diferentes, 60° e 80°, para NGC5929, 44° e 158°, para Mrk477. Os espectros bidimensionais foram reduzidos utilizando tarefas padrão do programa de processamento de dados FIGARO. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 2,"1 na região nuclear e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo.

Todos os espectros foram corrigidos por "redshift" e avermelhamento devido à poeira da nossa galáxia, segundo os valores de $E(B-V)_G$ da Tab. 2.1. A razão sinal-ruído para os espectros varia de ≈ 10 a 40. A cobertura angular varia de 3" (para Mrk34 e Mrk463E) a 50" (NGC1068).

Seis objetos da amostra foram observados nos dois telescópios. São eles: Mrk348, Mrk463E, Mrk573, NGC1386, NGC5135 e NGC7130. Os espectros das diferentes observações podem ser comparados (levando sempre em conta suas especificidades, como tamanho da região amostrada e ângulo de posição da fenda) com o objetivo de testar a qualidade das observações e reduções.

Na Fig. 2.1 são mostrados os espectros nucleares e extranucleares de três galáxias Sy2 da amostra. A galáxia CGCG42-015 (a) tem a população nuclear dominada por estrelas velhas (10 bilhões de anos), a IC1816 (b) por estrelas de idade intermediária (1 bilhão de anos) e NGC7130 (c) por estrelas jovens (100 milhões de anos ou mais jovens) ou luz espalhada vinda do núcleo do AGN (componente FC).

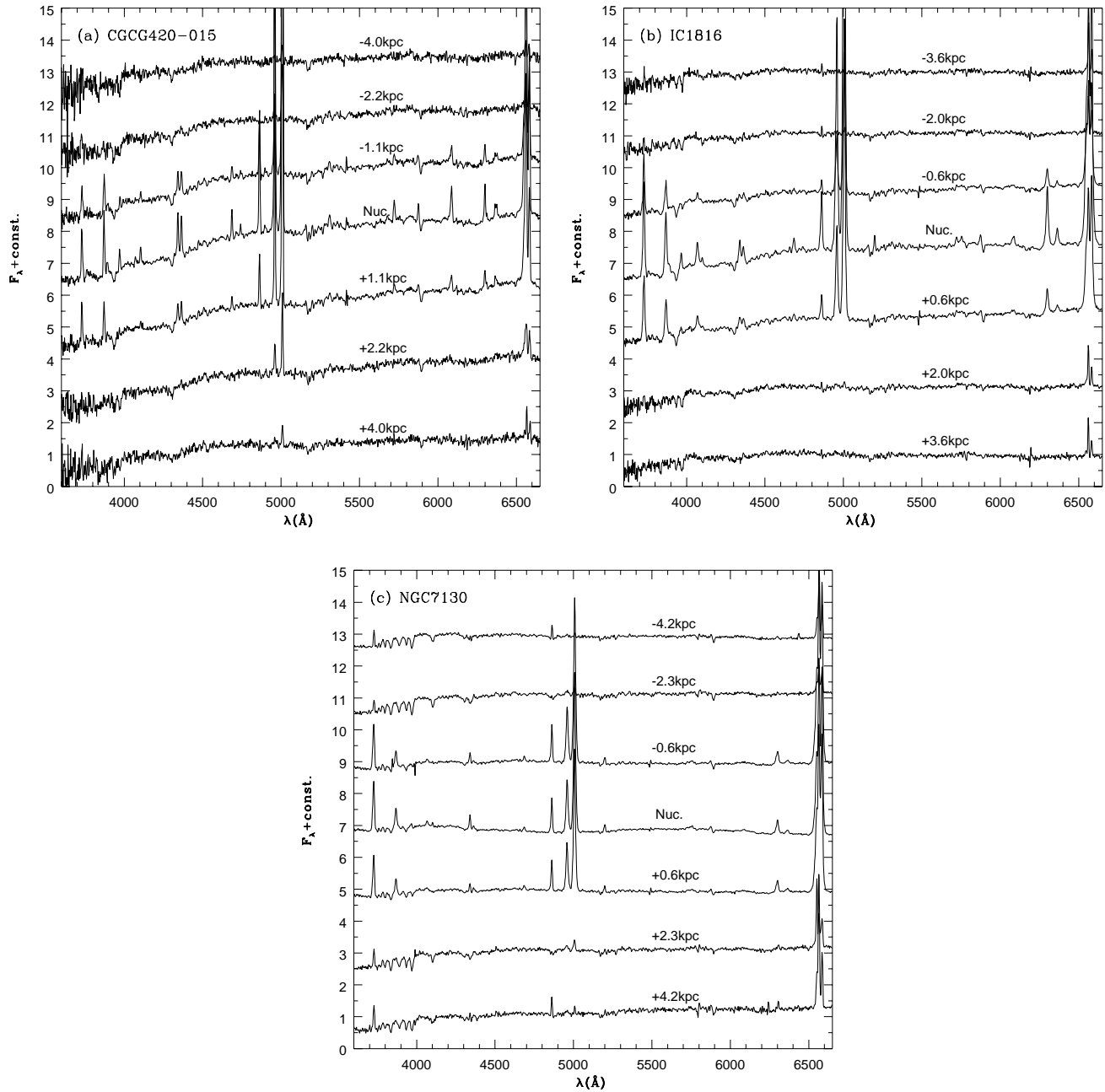


Fig. 2.1: Espectros nucleares e extranucleares de três galáxias Sy2 da amostra, mostrando populações diferenciadas, tanto de uma galáxia para outra, quanto entre extrações dentro da mesma galáxia.

Tab. 2.1: Amostra de galáxias Seyfert 2.

Nome	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Tipo Morf.	B	$\log L_{[OIII]}$	v	$E(B-V)_G$
Mrk348	00 46 05	+31 41 04	SA(s)0/a	13,94	41,01	4669	0,060
Mrk1	01 16 07	+33 05 22	S	15,01	41,62	4780	0,060
Mrk573	01 41 23	+02 05 56	SAB(rs)0 ⁺	13,57	42,07	5156	0,008
IC1816	02 29 48	-36 53 29	SA:(r:)a	13,66	41,16	5086	0,000
NGC1068	02 42 40	-00 00 48	SA(rs)b	9,61	41,88	1136	0,034
ESO417-G6	02 54 18	-32 23 00	(R)SA0/a	14,15	40,05	4792	0,000
Mrk1066	02 59 58	+36 49 14	SB(s)0 ⁺	13,64	40,97	3605	0,132
Mrk1073	03 15 01	+42 02 09	SB(s)b	13,70	41,50	6991	0,160
Mrk607	03 22 18	-03 13 03	Sa:sp	13,31	40,17	2716	0,018
NGC1358	03 31 11	-05 15 24	SAB(r)0/a	12,70	40,03	3980	0,025
NGC1386	03 34 51	-36 09 47	SB(s)0 ⁺	12,12	40,64	741	0,000
CGCG420-015	04 50 47	+03 58 47	E/S0	15,00	41,45	8811	0,070
ESO362-G8	05 09 20	-34 27 12	S0?	13,51	40,38	4616	0,005
NGC2110	05 52 11	-07 27 22	SAB0-	14,00	40,44	2284	0,375
Mrk3	06 15 36	+71 02 15	S0:	14,03	42,28	4050	0,188
Mrk78	07 42 42	+65 10 37	SB	15,00	42,39	11145	0,035
Mrk1210	08 01 27	+05 15 22	S?	14,21	41,26	3910	0,018
NGC3081	09 57 10	-22 35 06	SAB(r)0/a	12,59	39,82	2164	0,033
Mrk34	10 34 09	+60 01 52	S:	16,00	42,68	15150	0,009
IRAS11215-2806	11 21 35	-28 23 08	S0	13,00	40,18	4047	0,088
MCG-05-27-013	11 24 55	-28 59 00	SB(r)a?	13,71	40,96	7263	0,063
IC3639	12 40 53	-36 45 22	SBbc	13,00	40,77	3285	0,069
Fairall316	12 53 50	-46 39 18	S0?	13,81	39,98	4772	0,185
NGC5135	13 22 57	-29 34 26	SB(l)ab	12,37	41,05	3959	0,058
Mrk273	13 44 47	+55 53 13	RingGal. pec	15,07	41,97	11334	0,008
Mrk463E	13 56 03	+18 22 19	S pec	17,25	42,70	14904	0,030
NGC5643	14 29 28	-43 57 12	SAB(rs)c	10,23	40,53	1066	0,125
Mrk477	14 40 38	+53 30 16	S	-	42,70	11340	0,011
NGC5929	15 26 06	+41 40 14	Sab: pec	14,10	40,40	2753	0,024
ESO138-G1	16 51 20	-59 14 05	E/S0	14,31	40,54	2740	0,200
NGC6300	17 12 18	-62 45 54	SB(rs)b	10,20	39,65	997	0,120
NGC6890	20 14 49	-44 57 48	SB(r)ab	12,82	39,75	2459	0,008
NGC7130	21 45 20	-35 11 07	Sa pec	12,88	41,28	4850	0,000
NGC7212	22 07 01	+10 13 52	S	-	42,09	7994	0,072
NGC7582	23 15 38	-42 38 36	SB(s)ab	10,83	39,85	1551	0,000
Mrk533	23 27 57	+08 46 45	SA(r)bc pec	13,92	42,03	8713	0,059
NGC7743	23 44 21	+09 56 03	(R)SB(s)0 ⁺	12,38	39,33	1710	0,070

Tab. 2.2: *Galáxias Seyfert 2 observadas no telescópio Blanco do CTIO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''	
Mrk348	1800	170	170	2,20	302	
Mrk573	1800	125	131	1,64	334	
Mrk607	900	135	140	1,22	176	
Mrk1210	1800	163	163	1,25	253	
NGC1358	900	145	136	1,23	257	
NGC1386	1800	169	89	1,12	48	
NGC3081	1200	73	70	1,25	140	seeing 3arcsec
NGC5135	1800	30	100	1,25	256	
NGC5643	1800	90	75	1,19	69	
NGC6300	1800	124	18	1,19	63	nuvens
NGC6890	1800	153	12	1,03	159	nuvens
NGC7130	900	143	50	1,01	314	
NGC7582	300	67	83	1,53	100	
ESO362-G8	1800	165	88	1,17	298	
ESO417-G6	3600	155	69	1,01	310	
IC1816	1800	90	82	1,07	328	
CGCG420-015	900	40	140	1,46	570	
IRAS11215-2806	900	145	76	1,02	262	
MCG-05-27-013	1800	0	78	1,20	470	
Fairall316	1800	100	102	1,29	308	
Mrk463E	1800	162	162	1,55	968	
ESO138-G1	1800	1	36	1,15	160	
NGC7743	1800	177	177	1,30	110	

Tab. 2.3: *Galáxias Seyfert 2 observadas no telescópio Mayall do KPNO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
Mrk1	2400	95	90	1,02	310
Mrk3	1800	164	80	1,30	260
Mrk34	2100	37	150	1,16	980
Mrk78	1800	165	165	1,20	720
Mrk273	2100	73	60	1,30	730
Mrk348	2400	98	80	1,00	302
Mrk463E	1500	160	160	1,00	960
Mrk477	1800	169	160	1,00	730
Mrk533	2400	162	14	1,10	563
Mrk573	2400	161	6	1,15	334
Mrk1066	2400	144,158	90	1,10	235
Mrk1073	1800	165	90	1,20	450
NGC1068	1800	123	5	1,20	75
NGC1386	2400	0	0	2,60	48
NGC2110	1800	6	9	1,30	150
NGC5135	1800	173	180	2,10	256
NGC5929	1800	60,80	30	1,03	180
NGC7130	3000	177	170	2,55	314
NGC7212	2400	136	140	1,15	515
IC3639	2400	170	175	2,70	210

2.2 Rádio-galáxias

Esta amostra compreende 24 rádio-galáxias com $z < 0,08$ e densidade de fluxo $S(408 \text{ MHz}) > 4 \text{ Jy}$, selecionadas a partir do “MS4 survey”, um projeto do Telescópio Australiano Molonglo que identificou rádio-galáxias com $-85^\circ < \delta < -35^\circ$, $|b| > 10^\circ$ e a densidade de fluxo especificada acima. As rádio-galáxias que se enquadram neste critério são um total de 30, e 80% destas puderam ser observadas no tempo de observação disponível.

Na Tab. 2.4 está identificada a amostra de rádio-galáxias, com nome e posição dos objetos, tipo morfológico, morfologia rádio, magnitude B, $S(408 \text{ MHz})$ em Jy, velocidade radial (km s^{-1}) e avermelhamento $E(B-V)_G$. Desta amostra de rádio-galáxias, doze têm morfologia rádio do tipo FRI, oito são FR II e as quatro restantes são de tipos indefinidos (FRx ou FR II?) ou intermediários (FRI/II).

As velocidades radiais variam de 8400 a 22500 km s^{-1} , com uma velocidade radial mediana de 14905 km s^{-1} , o que corresponde a uma escala espacial mediana de $1100 \text{ pc}''$.

As galáxias (Tab. 2.5) foram observadas através do espectrógrafo EMMI no telescópio de $3,5 \text{ m}$ NTT do ESO, em setembro de 2001 e fevereiro de 2002. Os espectros foram tomados em duas regiões espectrais, 3300 a 5000 \AA e 4800 a 7300 \AA , com uma resolução espectral de $4\text{-}5 \text{ \AA}$. Foi utilizada uma fenda com $1,5''$ de largura, orientada ao longo da emissão estendida rádio de cada objeto. Para cada região espectral foram feitas duas exposições, com o objetivo de eliminar os raios cósmicos. Os espectros bidimensionais foram combinados e reduzidos utilizando tarefas padrão do IRAF. Foram feitas as correções por “bias”, “flat-field” e calibrações em comprimento de onda e em fluxo. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de $1,5''$ na região nuclear (mais brilhante) e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo (regiões menos brilhantes). Como a região vermelha tem resolução espectral maior do que a azul, os espectros vermelhos foram degradados até ficarem com uma resolução semelhante à dos azuis. Depois os espectros azuis e vermelhos foram combinados. Por fim, os espectros foram corrigidos por “redshift” e avermelhamento devido à poeira da nossa galáxia.

Na Tab. 2.5 são apresentados o tempo de exposição total em cada uma das regiões espectrais (vermelha, v e azul, a), ângulo posição da fenda (P.A.), ângulo paralático (ψ), massa de ar e escala espacial.

A razão sinal-ruído dos espectros finais varia de ≈ 10 a 30 e a cobertura espacial de $3''$ a $8''$. Com relação a emissão, duas galáxias apresentam espectros nucleares com linhas permitidas alargadas, oito apresentam somente linhas estreitas, sete têm linhas de emissão muito fracas e outras sete não têm emissão. Os espectros apresentados no capítulo anterior (Fig. 1.3) são espectros representativos destas “classes” de emissão encontradas na amostra.

2.3 Galáxias não ativas

A amostra de galáxias não ativas é constituída por 36 galáxias, cobrindo tipos de Hubble desde E0 até Sc, com e sem barras, os mesmos tipos dos AGNs que estão sendo estudados. Os objetos fazem parte, em sua maioria, de uma amostra de galáxias não ativas cuja população nuclear foi estudada por Bica & Alloin (1987).

Nas Tabs. 2.6 e 2.7 está identificada a amostra de galáxias não ativas, com nome e posição

Tab. 2.4: Amostra de rádio-galáxias.

Nome	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Tipo Morf.	Morf. Rádio	B	S(408MHz)	v	E(B-V) _G
ESO350-G-15	00 25 31	-33 02 46	E3	FRI	14,6	4,1	14940	0,015
NGC612	01 33 57	-36 29 35	SA0 pec	FRII	13,5	17,1	8925	0,020
ESO198-G-1	02 16 46	-47 49 23	E4	FRI	15,0	5,5	19190	0,023
ESO248-G-10	03 21 08	-45 12 51	S	FRII	15,6	8,3	18887	0,015
B0332-391	03 34 07	-39 00 03	E	FRI	>15,7	4,2	18680	0,019
B0344-345	03 46 30	-34 22 45	E	FRI/II	16,2	7,6	16130	0,012
IC2082	04 29 07	-53 49 39	-	FRI	14,0	14,6	12351	0,012
B0429-616	04 30 22	-61 32 01	-	FRI	15,5	4,4	16680	0,022
B0456-301	04 58 26	-30 07 22	E3	FRx	17,5	7,2	18900	0,013
Pictor A	05 19 49	-45 46 44	(R')SA0 pec	FRII	16,6	166,0	10510	0,043
ESO365-IG-6	06 20 00	-37 11 42	SAB0-:	FRII	14,8	5,8	9838	0,080
B0620-526	06 21 43	-52 41 36	-	FRI	15,5	9,3	15320	0,068
ESO161-IG-7	06 26 20	-53 41 33	E pec	FRI	14,9	26,0	16507	0,094
B0715-362	07 17 08	-36 22 00	SA0-	FRI	15,7	5,7	9593	0,282
ESO377-G-46	11 25 52	-35 23 41	(R)SAB(rs)0	FRI	14,0	6,6	10119	0,087
ESO271-G-20	14 10 28	-42 46 56	S	FRx	15,1	4,7	15889	0,081
B1413-364	14 16 33	-36 40 54	E	FRII	17,7	5,7	22394	0,066
B1637-771	16 44 16	-77 15 48	-	FRII	16,3	13,5	12801	0,099
ESO338-IG-11	19 33 23	-39 40 23	-	FRII?	15,5	4,3	22504	0,152
B2013-557	20 18 01	-55 39 30	E	FRI	16,2	4,8	18000	0,066
B2148-555	21 51 29	-55 20 13	E2	FRI	14,8	5,8	11627	0,024
ESO075-G-41	21 57 06	-69 41 23	SA0-	FRII	14,1	61,6	8476	0,029
AM2158-380	22 01 17	-37 46 25	Sa	FRII	14,8	4,1	9983	0,018
ESO349-G-10	23 57 00	-34 45 30	E4	FRI	14,0	8,7	14705	0,013

Tab. 2.5: Rádio-galáxias observadas no telescópio NTT do ESO.

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
ESO350-G-15	3600(v) 1800 (a)	11	106	1,02	965
NGC612	3600(v) 1800 (a)	103	105	1,07	577
ESO198-G-1	3600(v) 1800 (a)	173	148	1,07	1240
ESO248-G-10	3600(v) 1800 (a)	49	5	1,04	1220
B0332-391	3600(v) 1800 (a)	100	80	1,15	1207
B0344-345	3600(v) 1800 (a)	105	92	1,13	1042
IC2082	3600(v) 1800 (a)	109	71	1,26	798
B0429-616	3600(v) 1800 (a)	14	36	1,25	1077
B0456-301	3600(v) 1800 (a)	103	83	1,14	1220
Pictor A	3600(v) 1800 (a)	102	82	1,35	679
ESO365-IG-6	3600(v) 1800 (a)	88	110	1,05	636
B0620-526	3600(v) 1800 (a)	50	66	1,25	990
ESO161-IG-7	3600(v) 1800 (a)	103	65	1,29	1066
B0715-362	3600(v) 1800 (a)	82	90	1,22	620
ESO377-G-46	3600(v) 1800 (a)	87	71	1,05	654
ESO271-G-20	3600(v) 1800 (a)	102	117	1,18	1026
B1413-364	3600(v) 1800 (a)	29	109	1,05	1447
B1637-771	3600(v) 1800 (a)	0	40	1,60	827
ESO338-IG-11	3600(v) 1800 (a)	134	157	1,02	1454
B2013-557	3600(v) 1800 (a)	155	150	1,13	1163
B2148-555	3600(v) 1800 (a)	26	164	1,12	751
ESO075-G-41	3600(v) 1800 (a)	18	5	1,31	548
AM2158-380	3600(v) 1800 (a)	40	140	1,03	645
ESO349-G-10	3600(v) 1800 (a)	141	123	1,01	950

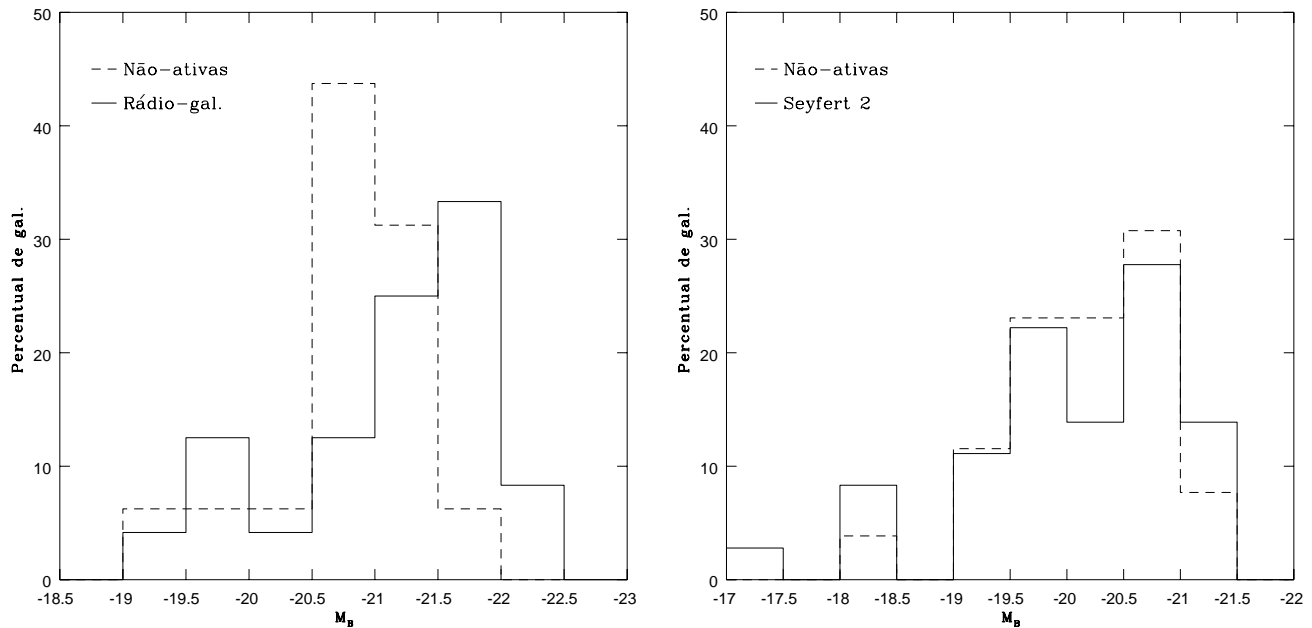


Fig. 2.2: Comparação entre as magnitudes absolutas dos AGNs e galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble. Na direita estão as Sy2 versus galáxias não ativas lenticulares e espirais, e na esquerda estão as rádio-galáxias versus galáxias não ativas lenticulares e elípticas.

dos objetos, tipo morfológico, magnitude B, velocidade radial (km s^{-1}) e avermelhamento $E(B-V)_G$. Ao todo são sete lenticulares, dezoito espirais e onze elípticas. Entre espirais e lenticulares, nove não têm barras, cinco são barradas e onze têm tipos intermediários entre barradas e não barradas.

As velocidades radiais variam de 600 a 4005 km s^{-1} para as lenticulares e espirais, com velocidade radial mediana de 2508 km s^{-1} , e de 1399 a 4740 para as elípticas, com velocidade radial mediana de 2627 km s^{-1} . Essas duas velocidades medianas correspondem a escalas espaciais de 162 e 170 pc'' , respectivamente.

Os objetos desta amostra têm magnitudes absolutas semelhantes às daquelas dos AGNs, o que garante a comparação entre objetos com aproximadamente as mesmas luminosidades. Na Fig. 2.2 são comparadas as magnitudes das duas amostras de AGNs, Seyfert 2s e rádio-galáxias, com aquelas das galáxias não ativas. No caso das Sy2 a concordância é ótima e das rádio-galáxias é boa.

Um cuidado que se precisa ter é quanto à região espacial amostrada, principalmente na comparação das rádio-galáxias com as galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble, já que as primeiras estão em média cerca de quatro vezes mais distantes que as últimas. Essa diferença foi levada em conta quando os espectros foram extraídos (tomando janelas maiores nas galáxias mais próximas) e também na análise dos resultados.

Assim como as galáxias Seyfert, a amostra de galáxias não ativas foi observada em diferentes telescópios, com instrumentos e configurações diferentes. Uma grande parte dos objetos foi observada no telescópio de 1,5m do ESO (25 objetos). Sete objetos foram

observados no telescópio 1,5m do CTIO, três no telescópio NTT do ESO e outros três no telescópio Blanco do CTIO.

Para as galáxias observadas no telescópio NTT foram feitas duas exposições em cada uma das regiões espectrais azul e vermelha, e nas galáxias observadas nos demais telescópios foram feitas três exposições. Assim procurou-se eliminar os raios cósmicos. Todos os espectros bidimensionais foram reduzidos utilizando tarefas padrão do IRAF. As imagens foram combinadas, corrigidas por “bias” e “flat-field”, e calibradas em comprimento de onda e em fluxo. Segue uma breve descrição das observações:

- Vinte e cinco galáxias (Tab. 2.8) foram observadas através do espectrógrafo Boller & Chivens no telescópio de 1,5m do ESO, em março e setembro de 2002. Os espectros cobrem a faixa espectral de 3600 a 7000Å, com uma resolução espectral de $\approx 6\text{Å}$. Foi utilizada uma fenda com 1,5" de largura, orientada ao longo do ângulo paralático. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 3,2" na região nuclear (mais brilhante) e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo (regiões menos brilhantes).
- Sete galáxias (Tab. 2.9) foram observadas através do espectrógrafo Richey-Chrétien no telescópio de 1,5m do CTIO, em janeiro de 2002 e janeiro de 2003. Os espectros cobrem a faixa espectral de 3600 a 7000Å, com uma resolução de $\approx 6\text{Å}$. Foi utilizada uma fenda com 1,5" de largura, orientada ao longo do ângulo paralático. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 3" na região nuclear e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo.
- Três galáxias (Tab. 2.10) foram observadas através do espectrógrafo Cassegrain no telescópio Blanco do CTIO, em maio e setembro de 1997 (Raimann et al. 2001). Os espectros cobrem a faixa espectral de 3500 a 7000Å, com uma resolução de $\approx 4\text{Å}$. Foi utilizada uma fenda com 1,5" de largura, orientada ao longo do ângulo paralático. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 1,5" na região nuclear e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo.
- Três galáxias (Tab. 2.11) foram observadas através do espectrógrafo EMMI no telescópio NTT do ESO, em setembro de 2001 e fevereiro de 2002. Os espectros foram tomados em duas regiões espectrais, 3300 a 5000Å e 4800 a 7300Å, com uma resolução de 4-5Å. Foi utilizada uma fenda com 1,5" de largura, orientada ao longo do ângulo paralático de cada objeto. Espectros unidimensionais foram extraídos em janelas de 1,5" na região nuclear e em janelas progressivamente maiores, conforme o afastamento do núcleo. Assim como nas rádio-galáxias observadas com o NTT, os espectros vermelhos foram degradados até ficarem com uma resolução semelhante à dos azuis. Depois os espectros azuis e vermelhos foram combinados.

Todos os espectros foram corrigidos por “redshift” e avermelhamento devido à poeira da nossa galáxia. A razão sinal-ruído para os espectros resultantes varia de ≈ 10 a 30 e a cobertura angular de 3" (NGC5813) a 36" (NGC6684).

Dois objetos da amostra foram observados em dois telescópios, NGC1425 e NGC4936.

Tab. 2.6: *Amostra de galáxias lenticulares e espirais não ativas.*

Nome	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Tipo Morf.	B	v	$E(B-V)_G$
NGC0289	00 52 42	-31 12 21	SAB(rs)bc	11,72	1628	0,019
NGC0779	01 59 42	-05 57 48	SAB(r)b	11,95	1391	0,027
NGC0908	02 23 04	-21 14 03	SA(s)c	10,83	1498	0,025
NGC1232	03 09 45	-20 34 46	SAB(rs)c	10,93	1500	0,026
NGC1302	03 19 51	-26 03 38	(R')SAB(rl)a	11,69	1703	0,021
NGC1367	03 35 02	-24 55 59	(R')SAB(r'l)a	11,57	1500	0,024
NGC1425	03 42 11	-29 53 36	SA(rs)b	11,87	1500	0,013
NGC1637	04 41 28	-02 51 30	SAB(rs)c	11,47	600	0,040
NGC3054	09 54 28	-25 42 07	SAB(r)bc	12,60	2400	0,074
NGC3223	10 21 35	-34 15 57	SA(r)bc	11,79	3000	0,108
NGC3358	10 43 33	-36 24 40	(R'2)SAB(l)ab	12,29	3000	0,055
NGC3706	11 29 44	-36 23 33	SA(rs)0-	12,38	2977	0,092
NGC4373	12 25 18	-39 45 37	SAB(rs)0-:	11,90	3396	0,080
NGC4825	12 57 12	-13 39 53	SA(0)	12,63	4452	0,049
NGC6684	18 48 57	-65 10 26	(L)SB(r)0 ⁺	11,31	847	0,067
NGC6861	20 07 19	-48 22 12	SA(s)0	12,12	2819	0,054
NGC6907	20 25 07	-24 48 33	SB(s)bc	11,90	3161	0,064
NGC6923	20 31 38	-30 50 01	SB(rs)b	12,68	2826	0,089
NGC6925	20 34 20	-31 58 52	SA(s)bc	12,07	2804	0,058
NGC7049	21 19 00	-48 33 43	SA(s)0	11,72	2231	0,007
NGC7079	21 32 35	-44 04 00	(L)SB(r)0	12,46	2670	0,031
NGC7184	22 02 39	-20 48 47	SB(r)c	12,24	2617	0,033
NGC7309	22 34 20	-10 21 23	SAB(rs)c	13,00	4005	0,055
IC5267	22 57 13	-43 23 45	(R)SA(rs)0/a	11,43	1713	0,013
IC5325	23 28 43	-41 19 58	SAB(rs)bc	11,83	1503	0,088

Tab. 2.7: *Amostra de galáxias elípticas não ativas.*

Nome	$\alpha(2000)$	$\delta(2000)$	Tipo Morf.	B	v	$E(B-V)_G$
NGC1404	03 38 52	-35 35 37	E1	10,35	1497	0,011
NGC1700	04 56 56	-04 51 55	E4	12,20	3895	0,043
NGC2865	09 23 30	-23 09 43	E3-4	12,57	2627	0,082
NGC3091	10 00 14	-19 38 13	E3:	12,13	3964	0,043
NGC3585	11 13 17	-26 45 18	E7/S0	10,88	1399	0,064
NGC3904	11 49 12	-29 16 35	E2-3:	11,83	1496	0,072
NGC3923	11 51 01	-28 48 22	E4-5:	10,80	1788	0,083
NGC4936	13 04 17	-30 31 31	E0	11,77	3117	0,083
NGC5061	13 18 04	-26 50 11	E0	11,44	2661	0,068
NGC5328	13 52 53	-28 29 16	E1:	12,67	4740	0,062
NGC5813	15 01 11	+01 42 08	E1-2	11,45	1972	0,057

Tab. 2.8: *Galáxias lenticulares, espirais (primeira parte da tabela) e elípticas (segunda parte) não ativas observadas no telescópio de 1,5m do ESO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
NGC0289	5400	90	85	1,10	105
NGC0779	5400	90	120	1,02	90
NGC0908	5400	90	160	1,04	97
NGC1302	5400	90	120	1,02	100
NGC1425	5400	90	95	1,01	97
NGC3706	5400	90	90	1,20	192
NGC4373	5400	90	20	1,02	220
NGC4825	5400	90	30	1,05	287
NGC6907	5400	90	20	1,08	204
NGC6923	5400	90	90	1,07	181
NGC6925	5400	90	88	1,05	181
NGC7079	5400	90	50	1,10	172
NGC7184	5400	90	50	1,05	169
IC5267	5400	90	55	1,10	97
IC5325	5400	90	50	1,10	110
NGC7309	5400	90	43	1,10	256
NGC1404	5400	90	100	1,50	126
NGC2865	5400	90	36	1,02	170
NGC3091	5400	90	65	1,15	256
NGC3585	5400	90	150	1,01	90
NGC3904	5400	90	81	1,19	97
NGC3923	5400	90	96	1,00	116
NGC4936	5400	90	90	1,01	205
NGC5061	5400	90	78	1,10	172
NGC5328	5400	90	95	1,10	306

Tab. 2.9: *Galáxias espirais não ativas observadas no telescópio de 1,5m do CTIO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
NGC1232	2400	90	130	1,02	97
NGC1367	2400	90	97	1,15	97
NGC1425	2400	90	95	1,02	97
NGC1637	2400	90	135	1,22	39
NGC3054	2400	90	90	1,06	155
NGC3223	2400	90	110	1,01	194
NGC3358	2400	90	165	1,01	194

Tab. 2.10: *Galáxias lenticulares não ativas observadas no telescópio Blanco do CTIO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
NGC6684	1800	155	155	1,26	55
NGC6861	1800	125	125	1,14	182
NGC7049	1800	116	116	1,19	144

Tab. 2.11: *Galáxias elípticas não ativas observadas no telescópio NTT do ESO.*

Nome	Tempo Exp.(s)	P.A.(°)	ψ (°)	Massa de Ar	pc'''
NGC1700	600(v) 600(a)	20	13	1,10	252
NGC4936	600(v) 600(a)	86	86	1,07	201
NGC5813	600(v) 600(a)	90	30	1,25	127

Na Fig. 2.3 são mostrados os espectros nucleares e extranucleares de três galáxias não ativas da amostra. A galáxia NGC5061 (a) tem tipo de Hubble E0, a NGC6684 (b) é uma S0 e a NGC6925 (c) é uma Sbc. As três galáxias apresentam importantes contribuições no núcleo de populações estelares velhas (10 bilhões de anos) e de idade intermediária (1 bilhão de anos). As galáxias NGC5061 e NGC6684 apresentam pouca variação entre a população nuclear e extranuclear. Na galáxia NGC6925, a população extranuclear é mais jovem que a nuclear, apresentando inclusive linhas de emissão, provavelmente devido à radiação proveniente dos braços espirais da galáxia.

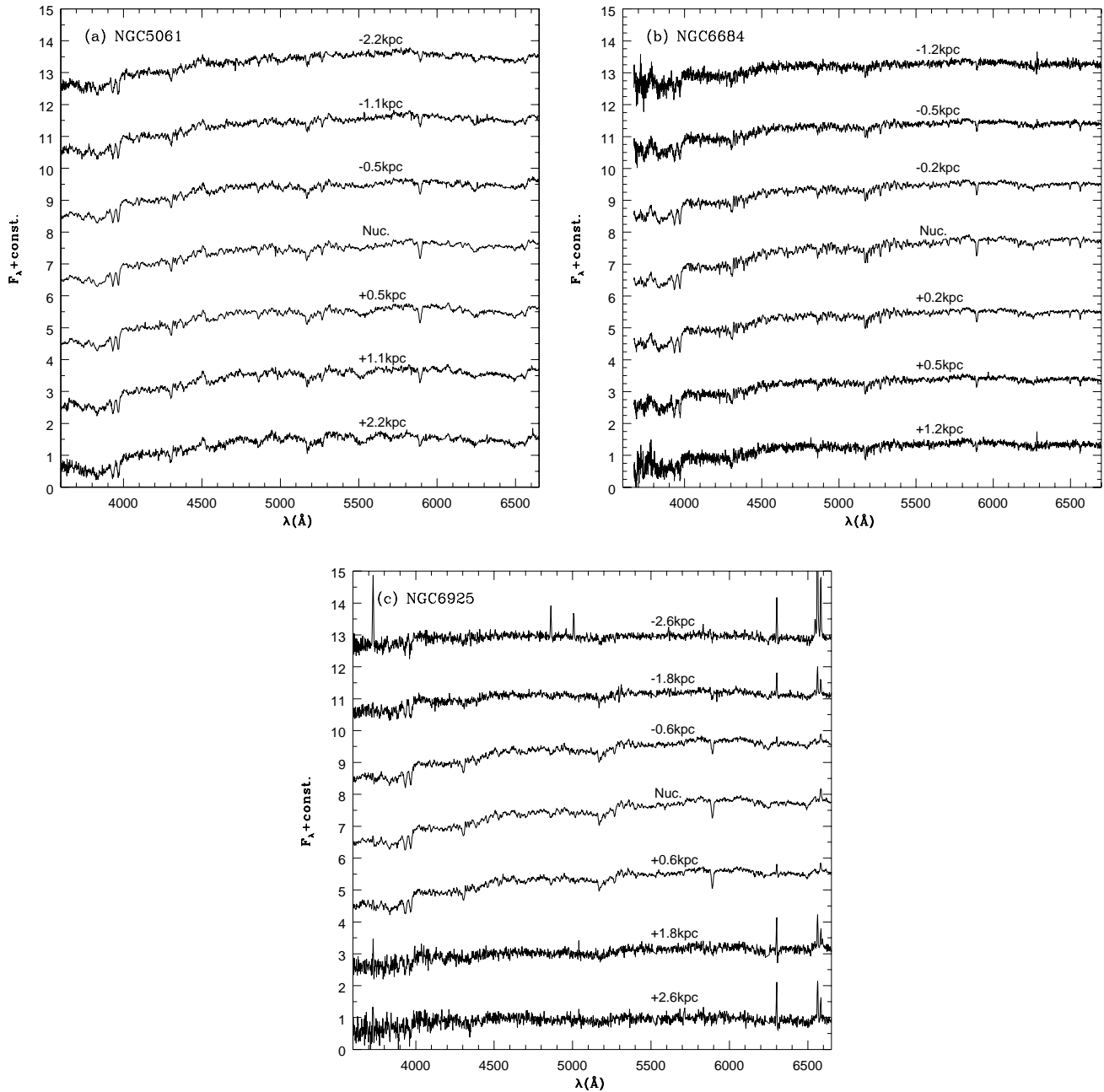


Fig. 2.3: Espectros nucleares e extranucleares de três galáxias não ativas da amostra. A galáxia NGC5061 (a) tem tipo de Hubble E0, a NGC6684 (b) é uma S0 e a NGC6925 (c) é uma Sbc.

Capítulo 3

Variação radial das larguras equivalentes e de razões do contínuo

O estudo da variação radial das larguras equivalentes das linhas de absorção (Ws) e de razões do contínuo (Cs), em função da distância ao núcleo, permite a análise dos gradientes de população estelar, e em particular, a indicação da presença de estrelas jovens ou de um contínuo devido a um núcleo ativo de galáxia (AGN) no espectro central, através da comparação com os espectros vizinhos. Normalmente em galáxias não ativas as Ws aumentam em direção ao núcleo, permanecendo aproximadamente constantes na região central. A presença destas componentes mostra-se através da diluição (diminuição) das Ws nucleares e de contínuos nucleares mais azuis, em relação àqueles encontrados ao redor do núcleo (Cid Fernandes et al. 1998).

Com o objetivo de estudar essa variação, primeiramente foi construído um contínuo artificial, chamado pseudo-contínuo. Depois foram medidas as Ws de características espectrais de absorção, integrando o fluxo entre o espectro e o pseudo-contínuo dentro das janelas espectrais pré-definidas, e dividindo pelo fluxo do pseudo-contínuo na janela, segundo a definição de largura equivalente. Esse processo foi realizado para todos espectros de todos os objetos.

Foram medidos os fluxos de contínuo nos pontos 3660, 3780, 4020, 4510, 4630, 5313, 5870, 6080 e 6630Å, e através desses pontos foi traçado o pseudo-contínuo. Estes pontos foram escolhidos por serem os pontos “mais altos” nos espectros e serem facilmente identificáveis, visto que não contêm linhas de absorção. Os fluxos correspondentes foram obtidos através de valores médios na região espectral ao redor destes comprimentos de onda. As Ws de oito características espectrais de absorção – wlb (sigla para “weak lines blend”, numa região espectral de linhas fracas; janela $\lambda\lambda 3810-3822\text{Å}$), H9 (numa região de linhas de absorção que inclui a linha H9; janela $\lambda\lambda 3822-3858\text{Å}$), CaIIK ($\lambda\lambda 3908-3952\text{Å}$), CaI(H+H ϵ) ($\lambda\lambda 3952-3988\text{Å}$), banda CN ($\lambda\lambda 4150-4214\text{Å}$), banda G ($\lambda\lambda 4284-4318\text{Å}$), MgI+MgH ($\lambda\lambda 5156-5196\text{Å}$) e NaI ($\lambda\lambda 5880-5914\text{Å}$) – foram medidas. Os pontos de contínuo e janelas espectrais usados são aqueles definidos por Bica & Alloin (1986a), Bica (1988) e Bica, Alloin & Schmitt (1994). Essas quantidades são utilizadas no método de síntese espectral de populações estelares, que será empregado neste trabalho.

Para as galáxias onde as populações de idade intermediária (≈ 100 milhões de anos) são dominantes, foram utilizados os pontos 3866 e 3910Å na construção do pseudo-contínuo, com objetivo de acompanhar a forma do contínuo. Já nas galáxias cuja população é dominada por uma componente velha, o ponto 3780Å não é utilizado, pois o contínuo neste ponto é

inferior àquele em 3660Å.

Uma questão bastante importante está relacionada com os erros de medida. Estudos nesse sentido foram realizado por Cid Fernandes et al. (1998, 2001). Os erros na medida de Ws e Cs dependem basicamente de dois fatores: o ruído presente no espectro e as incertezas na definição do pseudo-contínuo. Cid Fernandes e colaboradores avaliaram o primeiro fator através do estudo da propagação de erros. Medindo as razões sinal-ruído (S/N) em duas regiões espectrais de um conjunto de espectros com S/N moderado (maior do que 10), chegaram à conclusão que os erros devido às condições de S/N variam de 0,3Å a 0,5Å, dependendo da janela espectral onde está sendo feita a medida.

Com relação à definição do pseudo-contínuo, a análise dos erros não é um processo direto pois existe um fator subjetivo na determinação dos pontos de contínuo, a qual é feita de forma interativa. Foram determinados valores máximos e mínimos que poderiam ser atribuídos aos pontos de contínuo e foi analisado o efeito que esses limites exercem sobre o valor das Ws. Os autores chegaram à conclusão que os erros devido a este segundo fator provocam erros 30 a 50% maiores do que aqueles devido somente ao S/N.

Combinando os erros devido aos dois fatores, adicionados em quadratura, chegaram aos seguintes valores típicos para os erros de medidas das Ws: 0,5Å para CaIIK, CaIIH e banda G, 0,4Å para MgI+MgH e NaI, e 1,0Å para a banda CN. O erro maior de CN reflete o fato de que é uma característica espectral de difícil identificação, sendo pronunciada somente em populações bastante ricas em metais. Nas medidas que se seguem são apresentadas as barras de erros obtidas segundo as relações apresentadas por Cid Fernandes et al. (1998, 2001).

Devido ao menor intervalo espectral da amostra de galáxias Seyfert 2 observadas do hemisfério Norte (KPNO), para esses objetos o pseudo-contínuo foi construído através dos pontos com comprimento de onda 3660, 3780, 4020, 4510 e 4630Å. Além disso, apenas seis características espectrais wlb, H9, CaIIK, CaIIH+H ϵ , banda CN e banda G foram medidas.

Na Fig. 3.1 são ilustrados os pontos de pseudo-contínuo e os limites das janelas onde foram feitas as medidas das larguras equivalentes. No primeiro painel está o caso mais geral, com nove pontos de contínuo e oito larguras equivalentes. No segundo painel tem-se o caso específico dos objetos com menor intervalo espectral, galáxias Seyfert observadas no KPNO, com cinco pontos de contínuo e seis larguras equivalentes.

A diluição das Ws nucleares é avaliada através da comparação entre as Ws nucleares e extranucleares, através da Eq. 3.1,

$$f(\lambda) = \frac{W_{extranuc} - W_{nuc}}{W_{extranuc}} \quad (3.1)$$

onde W_{nuc} e $W_{extranuc}$ são respectivamente as Ws nuclear e extranuclear para uma dada característica espectral de absorção. $f(\lambda)$ dá uma estimativa da fração do contínuo associada a uma componente azul (população jovem ou AGN) no comprimento de onda da característica de absorção.

As incertezas mencionadas acima limitam o grau de detecção da diluição nuclear das Ws. Para Ws de 10Å, um valor que pode ser considerado médio daqueles encontrados nos objetos, um erro de 0,5Å corresponde a 5% da medida. Diluições menores do que esta não podem ser consideradas significativas.

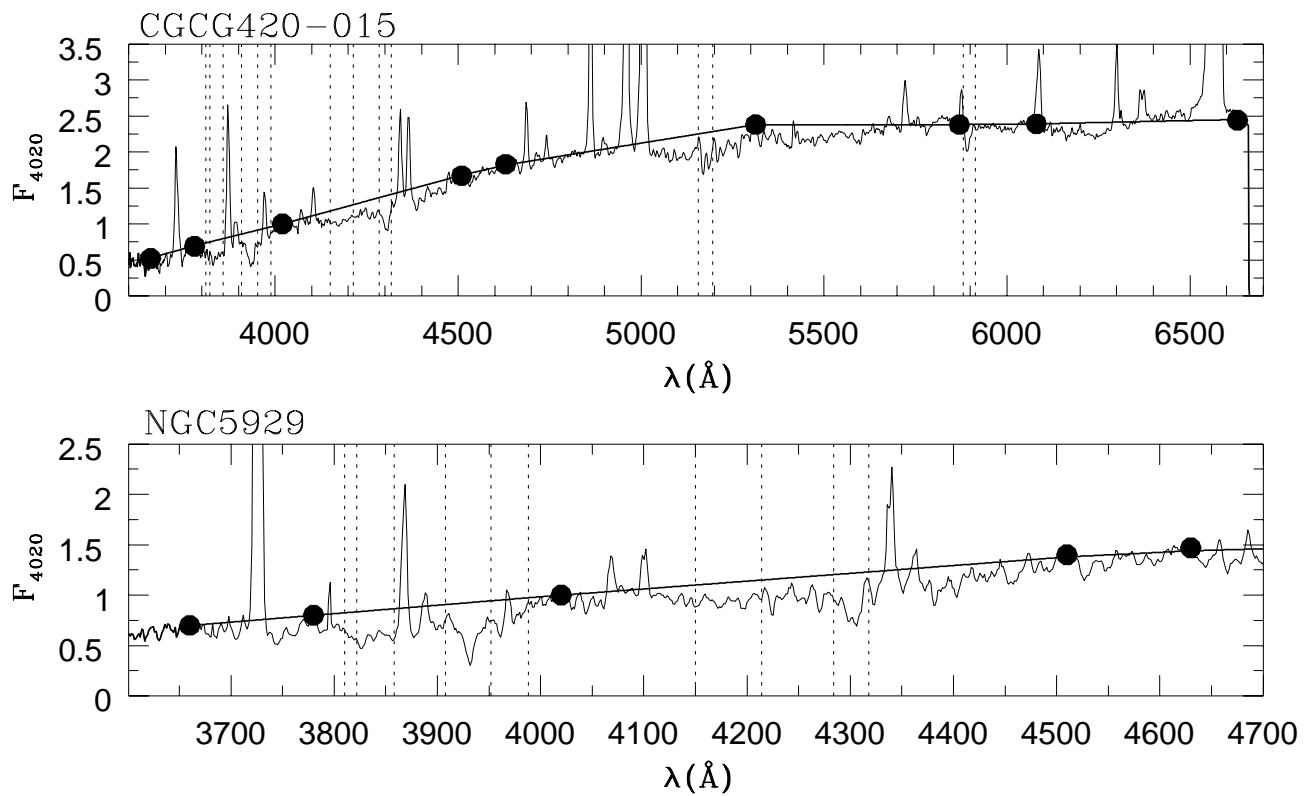


Fig. 3.1: Pontos do pseudo-contínuo (círculos pretos) e limites das janelas espectrais onde foram medidas as larguras equivalentes (linhas verticais tracejadas).

3.1 Galáxias Seyfert

3.1.1 Observadas no KPNO

Como já foi dito anteriormente, para este conjunto de objetos foram medidas cinco Cs (3660, 3780, 4020, 4510 e 4630Å) e seis Ws (w_{lb} , H9, CaIIK, CaIIH+H ϵ , banda CN e banda G).

Nas Figs. 3.2 a 3.6 são apresentadas as variações radiais das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. O primeiro painel mostra $W_{w_{lb}}$ (linha sólida) e W_{H9} (pontilhada), o segundo W_{CaIIK} (sólida) e $W_{CaIIH+H\epsilon}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e $W_{bandaCN}$ (pontilhada). O quarto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 4510 e 4020Å. No quinto painel tem-se o brilho superficial em 4020Å (em unidades de 10^{-15} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ Å $^{-1}$ arcsec $^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam a distância espacial em cada galáxia de 1kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3kpc.

Os intervalos de valores de Ws nucleares obtidos para os objetos desta amostra de galáxias Seyfert 2 foram: $0 < W_{w_{lb}} < 4\text{Å}$, $0 < W_{H9} < 11\text{Å}$, $2 < W_{CaIIK} < 16\text{Å}$, $0 < W_{CaIIH+H\epsilon} < 9\text{Å}$, $3 < W_{bandaCN} < 14\text{Å}$ e $1 < W_{bandaG} < 10\text{Å}$.

Quase todas galáxias deste conjunto apresentam emissão em H9 e CaIIH+H ϵ no núcleo e, portanto, apresentam as Ws dessas linhas menores na região nuclear, o que não é devido a um contínuo azul, mas ao preenchimento das linhas de absorção por linhas de emissão do gás. Em alguns casos, essa emissão está presente também nos espectros extranucleares. As galáxias Mrk463E e Mrk477 são exemplos de objetos cujos espectros são dominados por emissão estendida do gás.

Duas galáxias (Mrk348 e IC3639) apresentam valores de Ws que têm uma tendência de aumento em direção ao núcleo, embora o núcleo propriamente dito tenha Ws um pouco menores do aquelas de regiões adjacentes. Analisando com atenção o comportamento das Ws de CaIIK e banda G, janelas com os menores erros de medida e pouco afetadas pela emissão do gás, percebe-se que cerca da metade dos objetos têm Ws nucleares menores que aquelas de fora do núcleo. Na Tab. 3.1 são mostradas as diluições $f(\lambda)$ de CaIIK e banda G para esses objetos. Este comportamento deve-se provavelmente à diluição da população estelar do bojo por um contínuo azul, devido à luz que vem do AGN ou de uma população estelar jovem, ou de ambos. Nas galáxias restantes não existe uma diluição significativa das Ws nucleares, nem uma tendência de variação sistemática.

Com relação ao comportamento da razão entre os pontos de contínuo 4510 e 4020Å ($C_{4510/4020}$), duas galáxias (Mrk78 e IC3639) têm a região nuclear mais vermelha do que a extranuclear. Em quatro (Mrk1066, Mrk477, NGC5135 and NGC7130) o núcleo é mais azul e nas restantes (14 galáxias) o comportamento de $C_{4510/4020}$ não é simétrico em relação ao núcleo. Isso provavelmente acontece por causa da não uniformidade da distribuição de poeira nas galáxias, que pode ser vista em imagens destes objetos obtidas com o “Hubble Space Telescope” (HST), muitas das quais publicadas por Malkan et al. (1998, sua Fig. 2).

NGC1068

A galáxia NGC1068 é considerada o protótipo das Sy2 e é a mais brilhante da amostra observada no KNPO, o que permite um estudo mais detalhado de sua população estelar.

Foram obtidos para essa galáxia espectros de bom S/N até cerca de $50''$ (3,7kpc) do núcleo, com uma resolução espacial de ≈ 200 pc.

Neff et al. (1994) mostraram que esta galáxia contém vários componentes que contribuem no ultra-violeta (UV): o AGN central, regiões de formação estelar intensa e muito luminosas, um disco interno oval e brilhante e um fraco halo circular. As regiões de formação estelar intensas estão localizadas principalmente em dois anéis. Um deles está a $10''$ do núcleo (750pc) – o anel nuclear – e inclui a região de formação estelar mais luminosa. O outro está a $28''$ do núcleo (2,1 kpc) – o anel interno – que inclui várias outras regiões de formação estelar luminosas.

A fenda usada na observação deste objeto foi orientada de forma a incluir uma região de formação estelar de cada anel, chamadas de C e J por Neff e colaboradores. Na Fig. 3.5, painel superior esquerdo, pode-se ver que todas as Ws mostram uma queda dos seus valores no núcleo, em relação àqueles encontrados a $5''$ (onde estão os maiores valores das Ws). Além de $5''$ as Ws diminuem, comportamento consistente com a presença de regiões de formação estelar ao longo da fenda. Em particular, a $10''$ NO no anel nuclear (onde a região J está localizada) as Ws diminuem para valores menores do que aqueles do núcleo, enquanto que do outro lado do anel as Ws são semelhantes àquelas do núcleo, sugerindo que a população estelar não é tão jovem quanto na região J. No anel interno, os menores valores das Ws ocorrem em $\approx 28''$ SE, localização da região C. As Ws são semelhantes àquelas da região J.

A razão entre contínuos $C_{4510/4020}$ mostra um comportamento consistente com aquele das Ws, sendo mais azul nas regiões onde as Ws são menores.

Para calcular o fator de diluição $f(\lambda)$ as Ws nucleares foram comparadas com aquelas da região de $5''$ (375 pc), ao invés de 1 kpc como nas outras galáxias, pois o anel nuclear localiza-se justamente a ≈ 1 kpc e isso atrapalharia a análise. Todas as Ws nucleares estão diluídas em relação àquelas extranucleares. H9 e CaIIH+H ϵ estão contaminadas por emissão do gás, enquanto que CaIIK e a banda G estão diluídas por cerca de 20%. Este valor é consistente com a contribuição conhecida de uma componente FC (Antonucci, Hurt & Miller 1994).

3.1.2 Observadas no CTIO

À exceção das galáxias ESO138-G1, Mrk463E e NGC7743, as demais já tinham tido as Ws CaIIK, CaIIH+H ϵ , banda CN, banda G, MgI+MgH e NaI medidas (Cid Fernandes et al. 1998). Com o objetivo de manter a uniformidade, essas medidas foram refeitas e foram realizadas pela primeira vez as de wlb e H9. A concordância entre as medidas antigas e as novas é boa, levando em conta os erros adotados.

Nas Figs. 3.7 a 3.12 são apresentadas as variações radiais das Ws, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia para esse conjunto de objetos. O primeiro painel mostra W_{wlb} (linha sólida) e W_{H9} (pontilhada), o segundo W_{CaIIK} (sólida) e $W_{CaIIH+H\epsilon}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e $W_{bandaCN}$ (pontilhada) e o quarto $W_{MgI+MgH}$ (sólida) e W_{NaI} (pontilhada). O quinto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 5870 e 4020Å. No sexto painel tem-se o brilho superficial em 4020Å (em unidades de 10^{-15} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ Å $^{-1}$ arcsec $^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam em cada galáxia a distância espacial de 1kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3kpc.

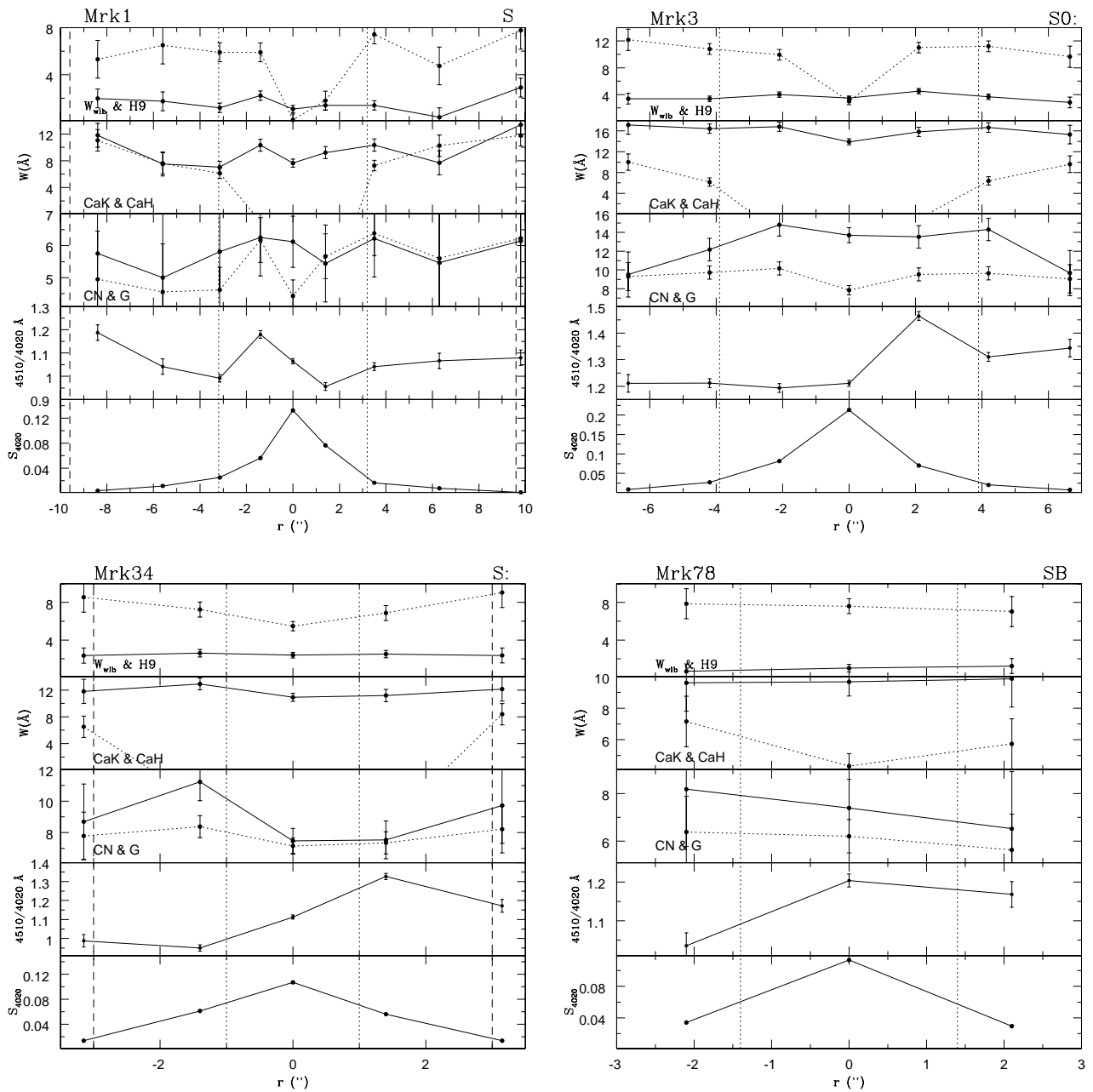


Fig. 3.2: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. O primeiro painel mostra W_{wlb} (linha sólida) e W_{H9} (pontilhada), o segundo W_{CaIK} (sólida) e $W_{\text{CaI(H+H}\epsilon)}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e W_{bandaCN} (pontilhada). O quarto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 4510 e 4020 \AA . No quinto painel tem-se o brilho superficial em 4020 \AA (em unidades de $10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \text{ arcsec}^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam em cada galáxia a distância espacial de 1 kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3 kpc.

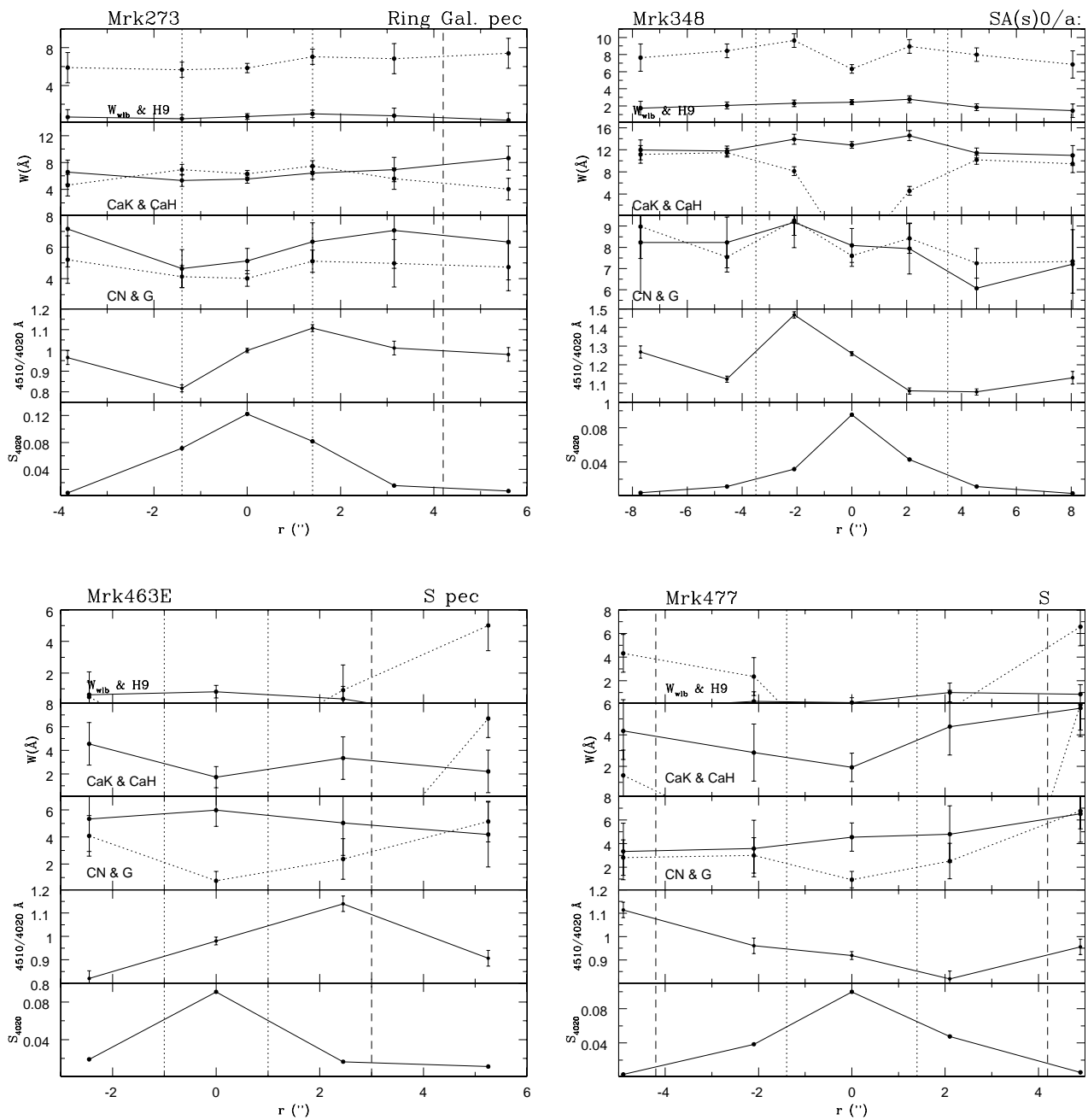


Fig. 3.3: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020Å , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2.*

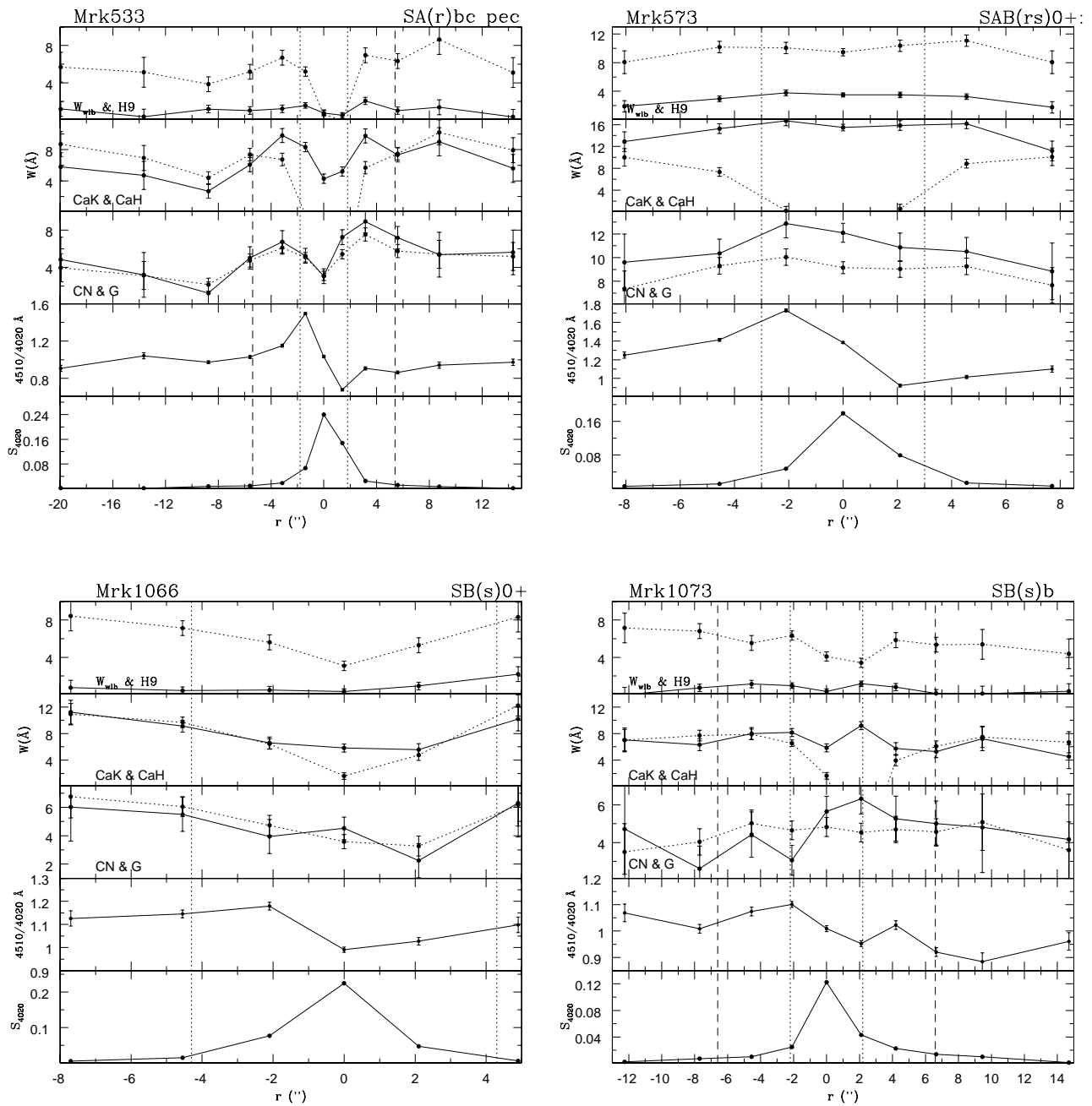


Fig. 3.4: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2.

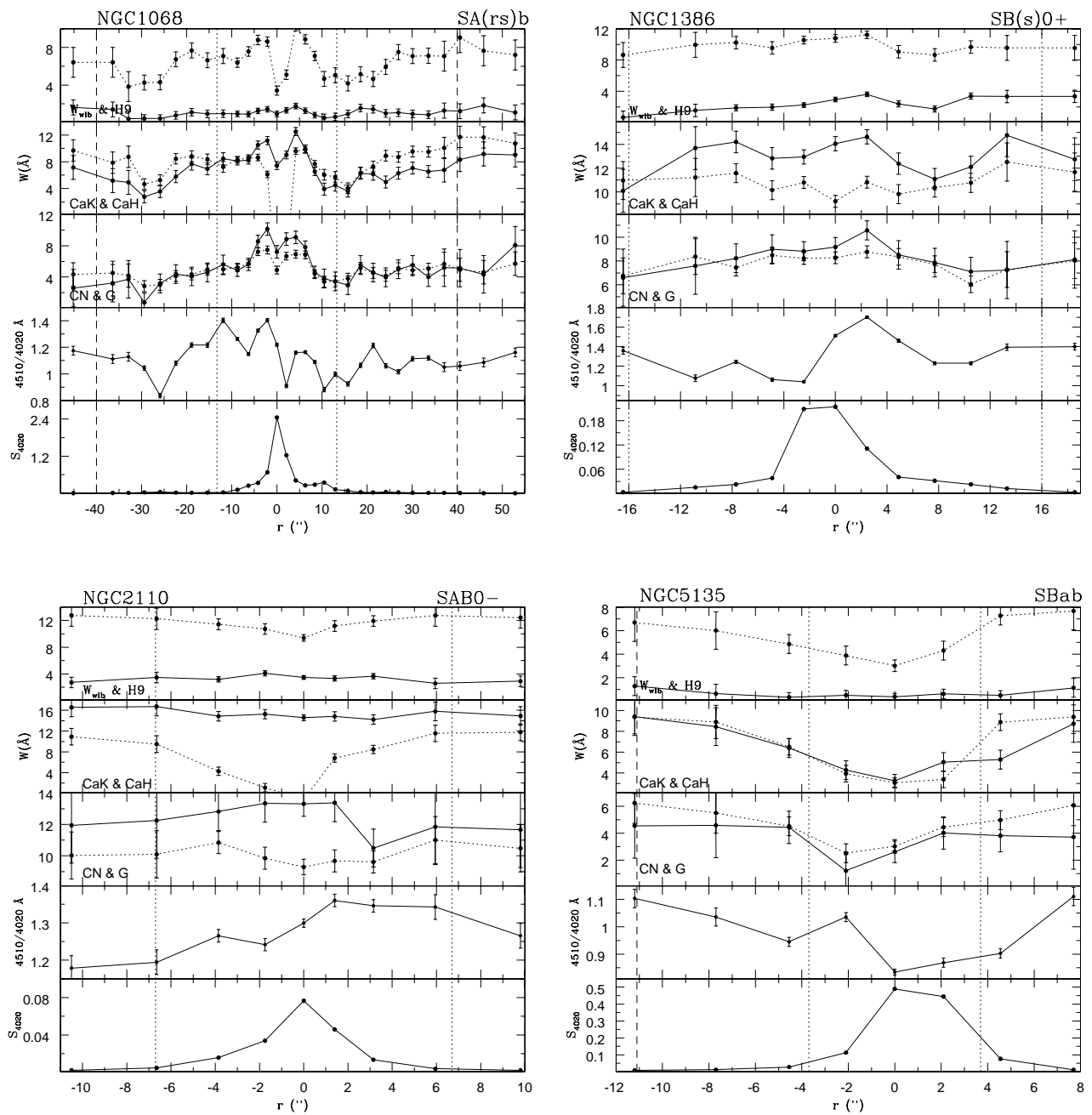


Fig. 3.5: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020Å , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2.

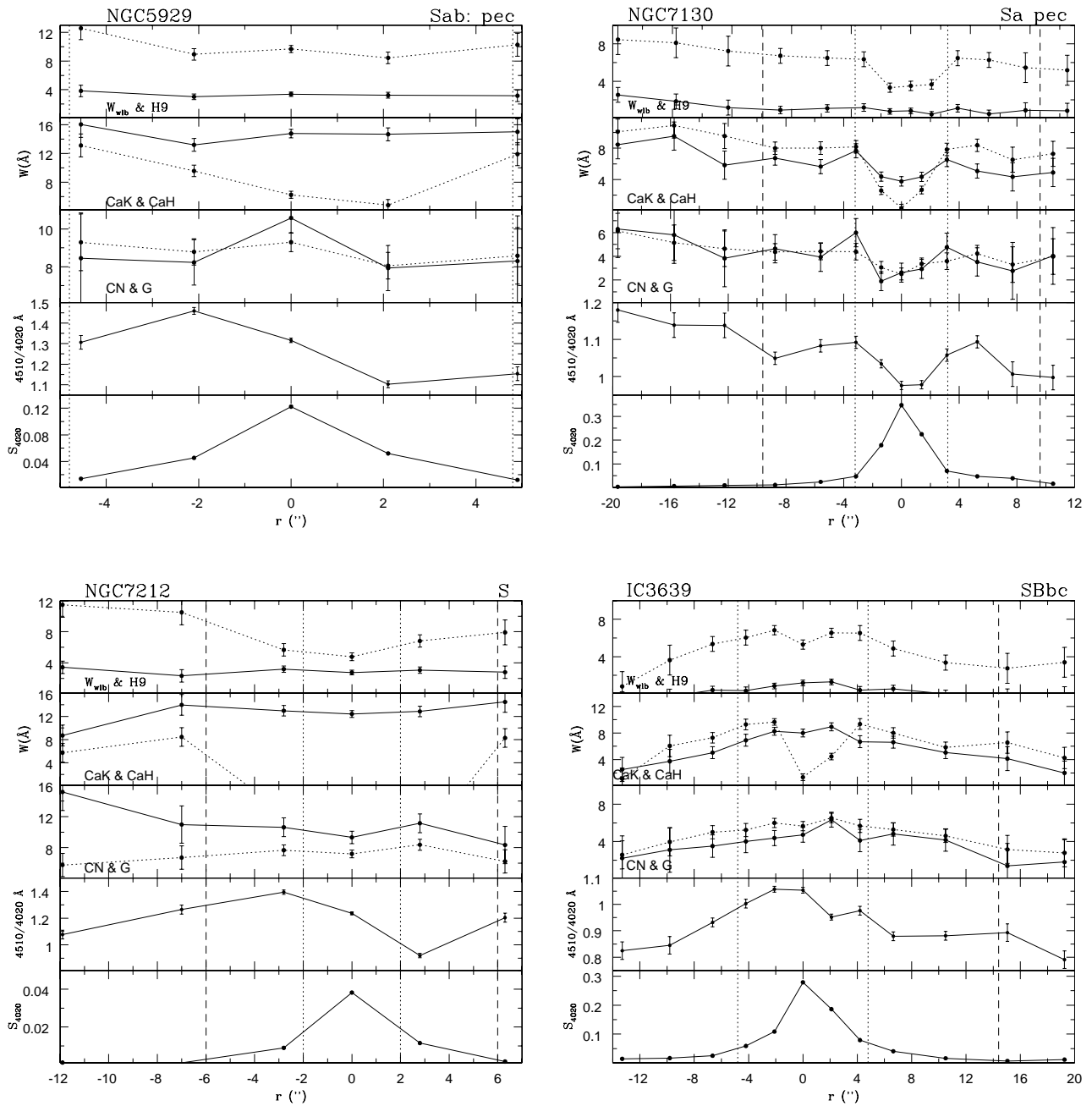


Fig. 3.6: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.2.*

Tab. 3.1: Galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO: porcentagem de diluição das larguras equivalentes nucleares de CaIIK e banda G em relação àquelas a 1kpc do núcleo.

Nome	f(λ) [%]	
	CaIIK	Banda G
Mrk1	13 \pm 13	17 \pm 13
Mrk3	10 \pm 6	18 \pm 1
Mrk463E	55 \pm 6	70 \pm 4
Mrk477	45 \pm 12	66 \pm 2
Mrk533	55 \pm 1	54 \pm 5
Mrk1066	40 \pm 3	41 \pm 1
NGC1068 ^a	35 \pm 6	30 \pm 2
NGC2110	5 \pm 3	12 \pm 4
NGC5135	44 \pm 6	36 \pm 3
NGC7130	46 \pm 4	36 \pm 6
NGC7212	3 \pm 1	10 \pm 4

^a Em relação a 5'' (375 pc) do núcleo (ver o texto, Sec. 3.1.1).

Os intervalos dos valores de Ws nucleares obtidos para os objetos desta amostra de galáxias Seyfert 2 foram: $0 < W_{wlb} < 4\text{\AA}$, $0 < W_{H9} < 15\text{\AA}$, $3 < W_{CaIIK} < 18\text{\AA}$, $0 < W_{CaIIH+H\epsilon} < 15\text{\AA}$, $0 < W_{bandaCN} < 16\text{\AA}$, $2 < W_{bandaG} < 11\text{\AA}$, $4 < W_{MgI+MgH} < 10\text{\AA}$ e $1 < W_{NaI} < 5\text{\AA}$.

Com relação ao contínuo, apenas cinco destas galáxias apresentam o núcleo mais azul que as regiões extranucleares. São elas NGC7743, ESO138-G1, NGC7130, NGC5643 e NGC5135, sendo que as três últimas têm núcleos compostos “starburst”+AGN (Phillips et al. 1983). Nas demais galáxias o núcleo é mais vermelho, sugerindo uma população estelar nuclear mais velha, mais metálica ou ainda com mais poeira que a extranuclear.

A maioria das galáxias apresenta forte emissão nuclear, o que faz com que as linhas CaIIH + H ϵ e H9 nucleares estejam fortemente diluídas. A linha do MgI+MgH do núcleo também apresenta contaminação das linhas de emissão [FeVII] e/ou [NI] em muitos casos e apresenta uma diluição que não se deve a um FC ou a uma população jovem.

São poucas as galáxias que apresentam forte diluição nuclear devido à componente FC e/ou à população jovem. Destacam-se nesse sentido as galáxias Mrk463E, NGC5135, NGC5643, NGC7130, NGC7582, ESO138-G1 e ESO362-G8. Na Tab. 3.2 são mostradas as diluições f(λ) de CaIIK, banda G e MgI+MgH. Essas diluições medem a contribuição de uma componente FC e/ou população jovem à luz nuclear. Na maioria dos casos são comparadas as Ws nucleares àquelas a 1 kpc do núcleo. Para três galáxias a distância de referência utilizada foi diferente: em Mrk463E foi utilizada a distância de 3 kpc, devido à sua emissão muito estendida; em NGC6890 e NGC7582 foram utilizados os espectros mais externos disponíveis, que não alcançam 1 kpc (estão a 560 e 800 pc, respectivamente). As incertezas listadas na tabela são obtidas através da diferença entre os fatores de diluição encontrados usando as duas extrações extranucleares (de lados opostos ao núcleo). Além das galáxias já citadas acima, NGC1386, NGC6890, NGC7743, CGCG420-015 e IRAS11215-015 apresentam diluições maiores do que 10% em pelo menos uma linha, que podem ser devido

Tab. 3.2: Galáxias Seyfert 2 observadas no CTIO: porcentagem de diluição das larguras equivalentes nucleares de CaIIK, banda G e MgI+MgH, em relação àquelas a 1kpc do núcleo.

Nome	f(λ) [%]		
	CaIIK	Banda G	MgI+MgH
Mrk348	–	3 \pm 3	9 \pm 2 ^c
Mrk1210	3 \pm 3	8 \pm 4	48 ^c
Mrk463E ^b	78 \pm 2	69 \pm 6	–
NGC1386	13 \pm 1	3 \pm 3	3
NGC5135	26 \pm 2	39 \pm 2	40 \pm 7 ^c
NGC5643	25 \pm 9	21 \pm 3	32 \pm 2 ^c
NGC6890 ^a	8 \pm 2	23 \pm 3	3 \pm 3
NGC7130	51 \pm 1	61 \pm 2	15 \pm 4 ^c
NGC7582 ^a	70 \pm 7	63 \pm 7	57 \pm 10 ^c
NGC7743	23 \pm 1	5 \pm 5	–
ESO138-G1	47 \pm 4	54 \pm 3	–
ESO362-G8	30 \pm 3	15 \pm 1	14 \pm 5
IC1816	8 \pm 6	7 \pm 4	42 \pm 1 ^c
CGCG420-015	5 \pm 5	15 \pm 3	5 \pm 4
IRAS11215-2806	10 \pm 5	16 \pm 1	18 \pm 5
MCG-05-27-013	6 \pm 6	10 \pm 2	12 \pm 2

^a Em relação às extrações mais externas (que não chegam a 1 kpc).

^b Em relação àquelas a 3 kpc do núcleo, devido a emissão muito estendida.

^c Contaminação pelas linhas de emissão [FeVII] e/ou [NI].

à componente FC ou a uma população jovem. As galáxias Mrk1210 e IC1816 apresentam diluição significativa apenas na linha do MgI+MgH, que está contaminada por emissão.

A galáxia Mrk348 tem valores de Ws que apresentam um pequeno aumento em direção ao núcleo, comportamento semelhante ao encontrado em galáxias não ativas.

Fazendo um resumo do que foi encontrado nesses dois conjuntos de galáxias tem-se que:

- As Ws nucleares apresentadas pelas galáxias Seyfert 2 desta amostra mostram uma variação bastante grande, sendo que os intervalos encontrados para aquelas Ws comuns aos dois conjuntos foram: $0 < W_{wlb} < 4\text{Å}$, $0 < W_{H9} < 15\text{Å}$, $2 < W_{CaIIK} < 18\text{Å}$, $0 < W_{CaIIH+H\epsilon} < 15\text{Å}$, $0 < W_{bandaCN} < 16\text{Å}$ e $1 < W_{bandaG} < 10\text{Å}$.
- A maioria das galáxias apresenta forte emissão nuclear, o que faz com que as linhas CaIIH + H ϵ e H9 nucleares estejam fortemente diluídas. Em alguns casos, essa emissão está presente também nos espectros extranucleares.
- Poucas galáxias da amostra apresentam um contínuo nuclear mais azul que o contínuo

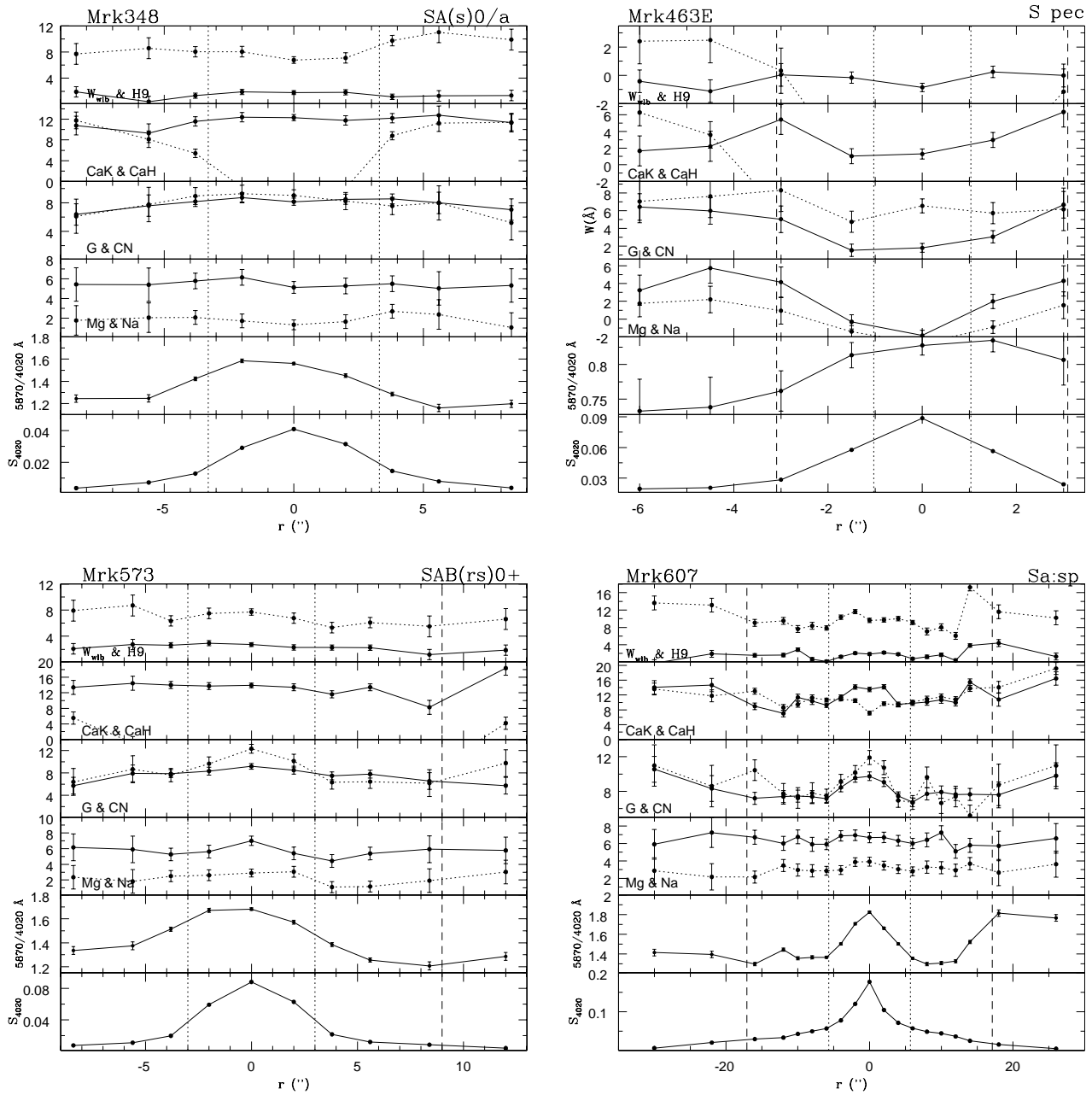


Fig. 3.7: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. O primeiro painel mostra W_{wlb} (linha sólida) e W_{H9} (pontilhada), o segundo W_{CaIK} (sólida) e $W_{CaIIH+H\epsilon}$ (pontilhada), o terceiro W_{bandaG} (sólida) e $W_{bandaCN}$ (pontilhada) e o quarto $MgI+MgH$ (sólida) e NaI (pontilhada). O quinto painel traz a razão entre os pontos de contínuo 5870 e 4020\AA . No sexto painel tem-se o brilho superficial em 4020\AA (em unidades de $10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \text{ arcsec}^{-2}$). As linhas verticais pontilhadas sinalizam a distância espacial em cada galáxia de 1kpc do núcleo e as tracejadas a distância de 3kpc .*

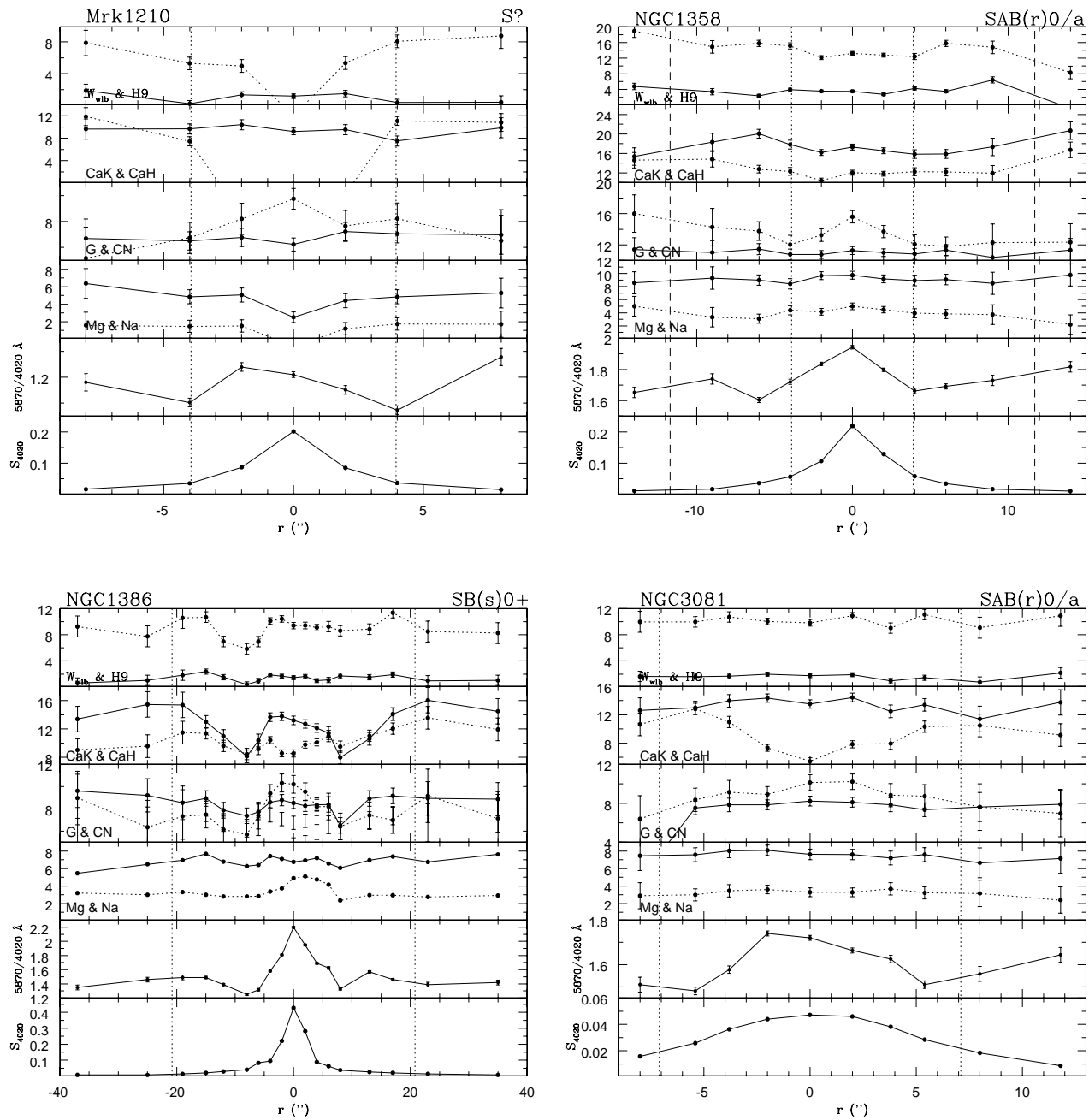


Fig. 3.8: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

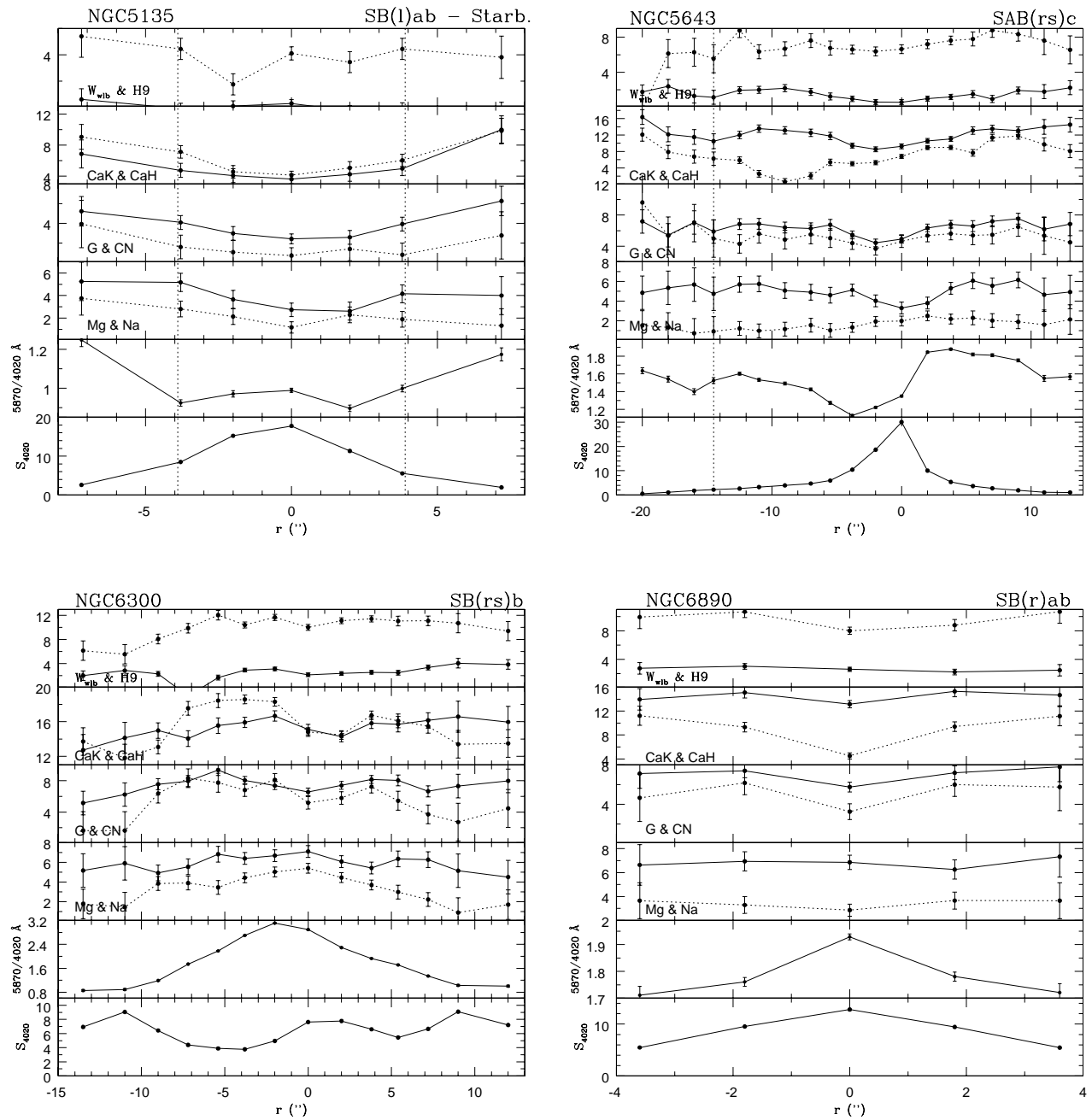


Fig. 3.9: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

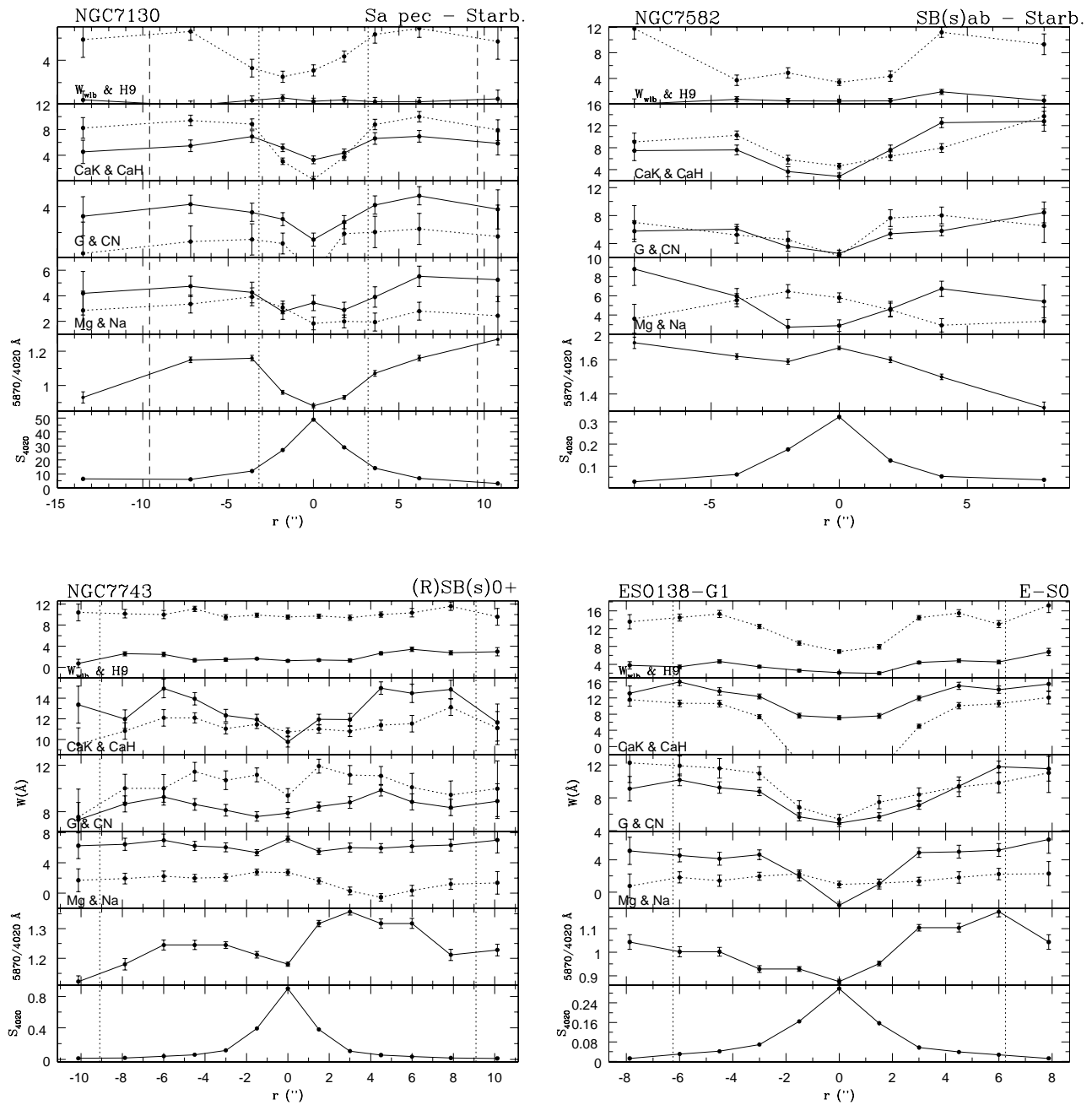


Fig. 3.10: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

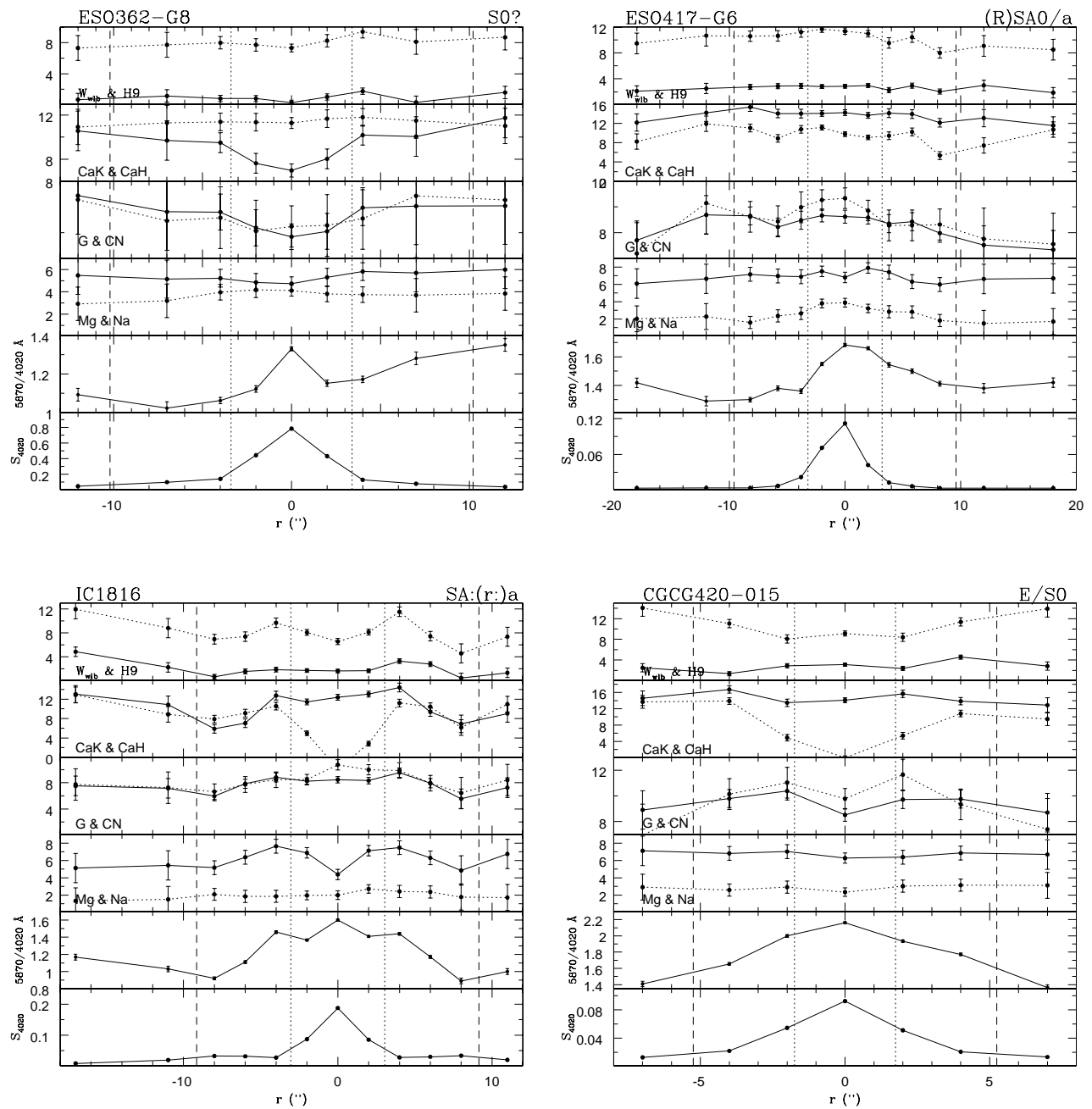


Fig. 3.11: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020 \AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

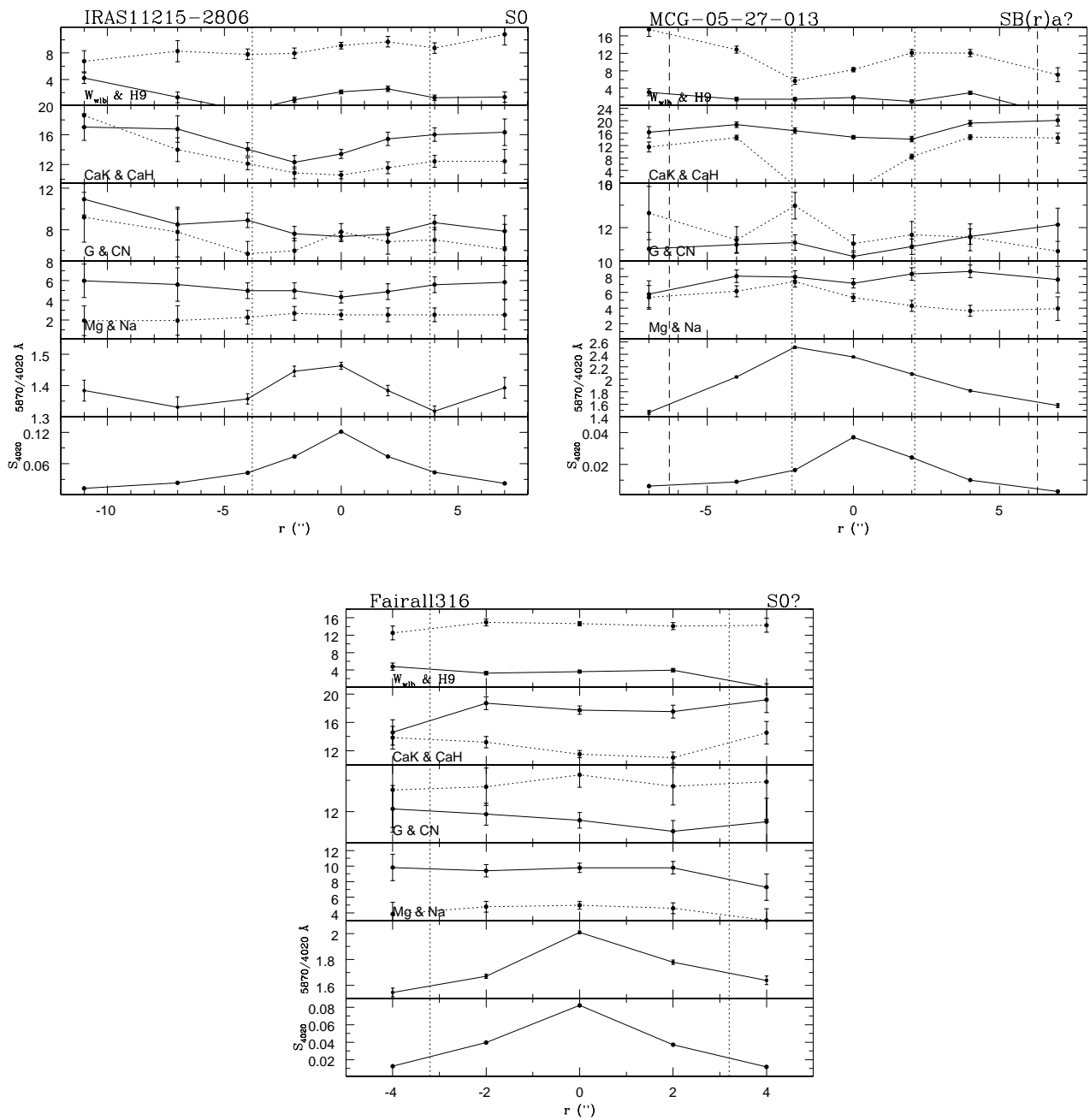


Fig. 3.12: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

extranuclear. A maior parte das galáxias apresenta um contínuo que não tem comportamento simétrico em relação ao núcleo (provavelmente devido à distribuição não uniforme de poeira na galáxia) ou que é mais vermelho no núcleo (devido à maior concentração de poeira no centro e/ou a uma população nuclear mais velha ou mais metálica).

- A presença de um contínuo azul devido ao núcleo ativo na região nuclear das galáxias Seyfert 2 implicaria em uma diluição das Ws nucleares em relação às aquelas extranucleares, em todos os objetos desta amostra. Mas este fato não se verifica, pois cerca da metade das galáxias não apresenta diluições nucleares consistentes com a presença de uma componente FC. A luz que vem do AGN, se presente, deve contribuir com menos de 10% da luz integrada, ou ela deve ser bastante estendida. Os valores de contribuição desta componente encontrados em vários trabalhos anteriores são bem maiores, em geral. Essa discrepância deve-se em grande parte a uma subtração equivocada da população estelar da galáxia hospedeira. A necessidade de invocar a presença de uma componente FC2 (contínuo tipo FC mas com origem diversa da radiação vinda do AGN) tem origem no mesmo problema.

3.2 Rádio-galáxias

Nas Figs. 3.13 a 3.18 são apresentadas as medidas de W_s , razões do contínuo e brilho superficial, em função da distância angular ao núcleo, para a amostra de rádio-galáxias.

A cobertura angular para esses objetos é sempre pequena (menor do que $6''$) mas, devido às suas distâncias, a cobertura espacial geralmente é maior do que 3kpc, cobertura dificilmente encontrada nas galáxias não ativas da amostra, que serão utilizadas como referência no estudo (ver abaixo).

Das figuras pode-se ver que apenas duas rádio-galáxias apresentam diluição proeminente das W_s nucleares e contínuo nuclear mais azul do que o contínuo extranuclear, ESO075-G41 e PictorA. Essas duas galáxias são rádio-galáxias de linhas largas (BLRG) e portanto, apresentam uma importante contribuição de radiação vinda diretamente do AGN. Essa contribuição explica o comportamento das W_s e do contínuo.

Em geral as rádio-galáxias estudadas apresentam pouca variação das W_s ao longo da fenda, com uma pequena tendência de diminuírem para fora do núcleo. Quanto ao contínuo, em geral é mais vermelho no núcleo do que fora. Esse comportamento é bastante semelhante àquele encontrado em galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble, como se vê nas próximas seções.

Os intervalos de valores obtidos para as W_s nucleares são: $1 < W_{wlb} < 7\text{Å}$, $7 < W_{H9} < 18\text{Å}$, $8 < W_{CaIIK} < 20\text{Å}$, $8 < W_{CaIHH+H\epsilon} < 15\text{Å}$, $5 < W_{bandaCN} < 15\text{Å}$, $4 < W_{bandaG} < 12\text{Å}$, $4 < W_{MgI+MgH} < 11\text{Å}$ e $4 < W_{NaI} < 9\text{Å}$.

3.3 Galáxias não ativas

3.3.1 Galáxias elípticas

Três das galáxias deste conjunto foram observadas com telescópio NTT do ESO (NGC1700, NGC4936 e NGC5813), mas, devido ao pequeno tempo de exposição, a cobertura espacial obtida é comparável àquela dos demais objetos observados com um telescópio de 1,5m e com um tempo de exposição maior.

Nas Figs. 3.19 a 3.21 são apresentadas as medidas de W_s , razões do contínuo e brilho superficial, em função da distância angular ao núcleo, para as galáxias elípticas não ativas.

Destas galáxias, apenas uma apresenta o núcleo mais azul que as regiões extranucleares (NGC2865). Na grande maioria das galáxias o núcleo é mais vermelho, sugerindo uma população mais velha ou mais rica em metais, ou ainda, mais obscurecida por poeira.

Em geral as W_s não têm muita variação ao longo dos kiloparsecs centrais. Os valores nucleares para esse conjunto situam-se nos intervalos: $4 < W_{wlb} < 7\text{Å}$, $13 < W_{H9} < 18\text{Å}$, $14 < W_{CaIIK} < 20\text{Å}$, $12 < W_{CaIHH+H\epsilon} < 14\text{Å}$, $7 < W_{bandaCN} < 10\text{Å}$, $7 < W_{bandaG} < 12\text{Å}$, $6 < W_{MgI+MgH} < 11\text{Å}$ e $3 < W_{NaI} < 7\text{Å}$.

3.3.2 Galáxias lenticulares

Deste conjunto, três galáxias foram observadas com o telescópio Blanco do CTIO, NGC6684, NGC6861 e NGC7049, a primeira uma lenticular barrada e as outras duas lenticulares sem

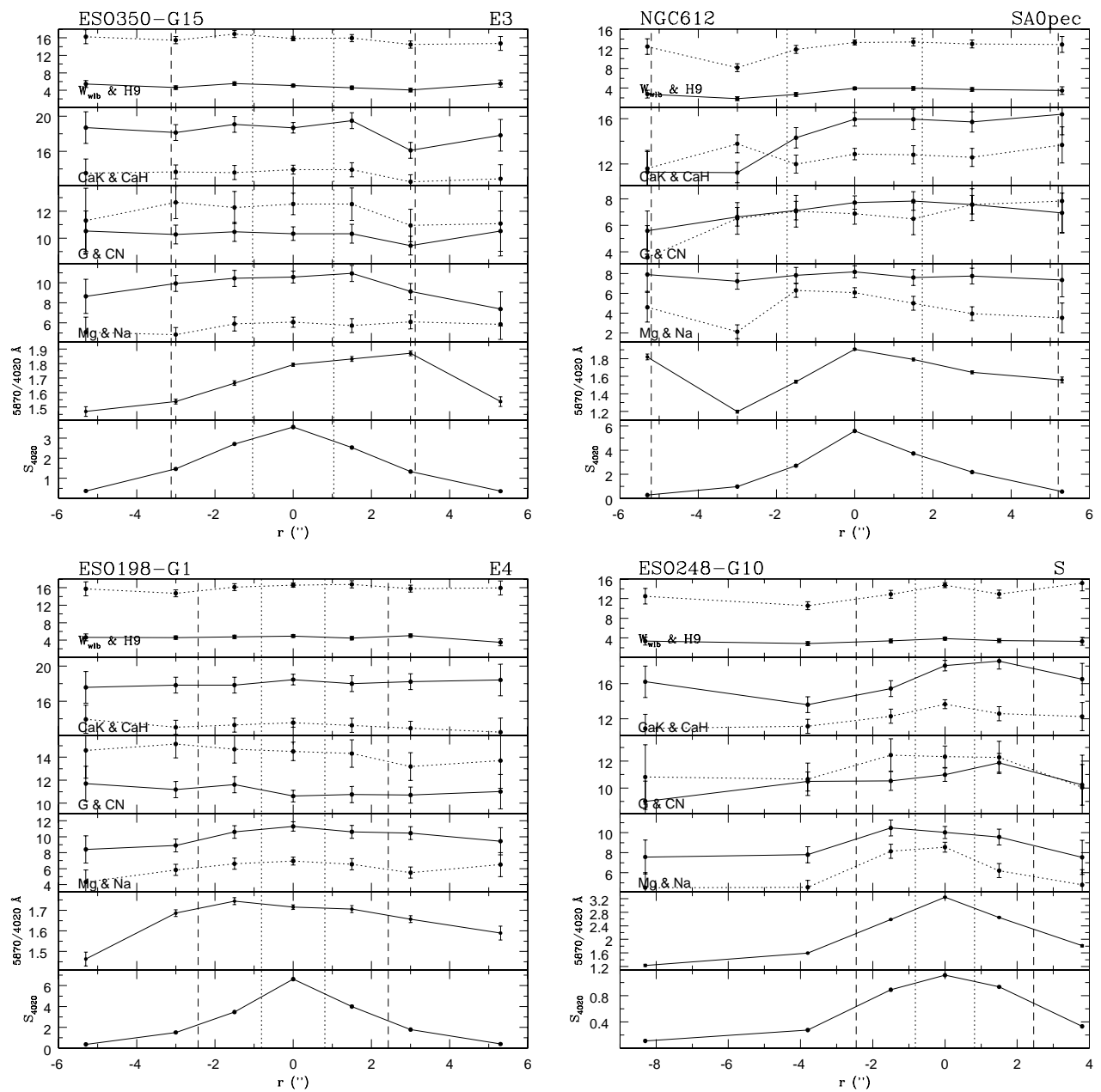


Fig. 3.13: Rádio-galáxias: *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

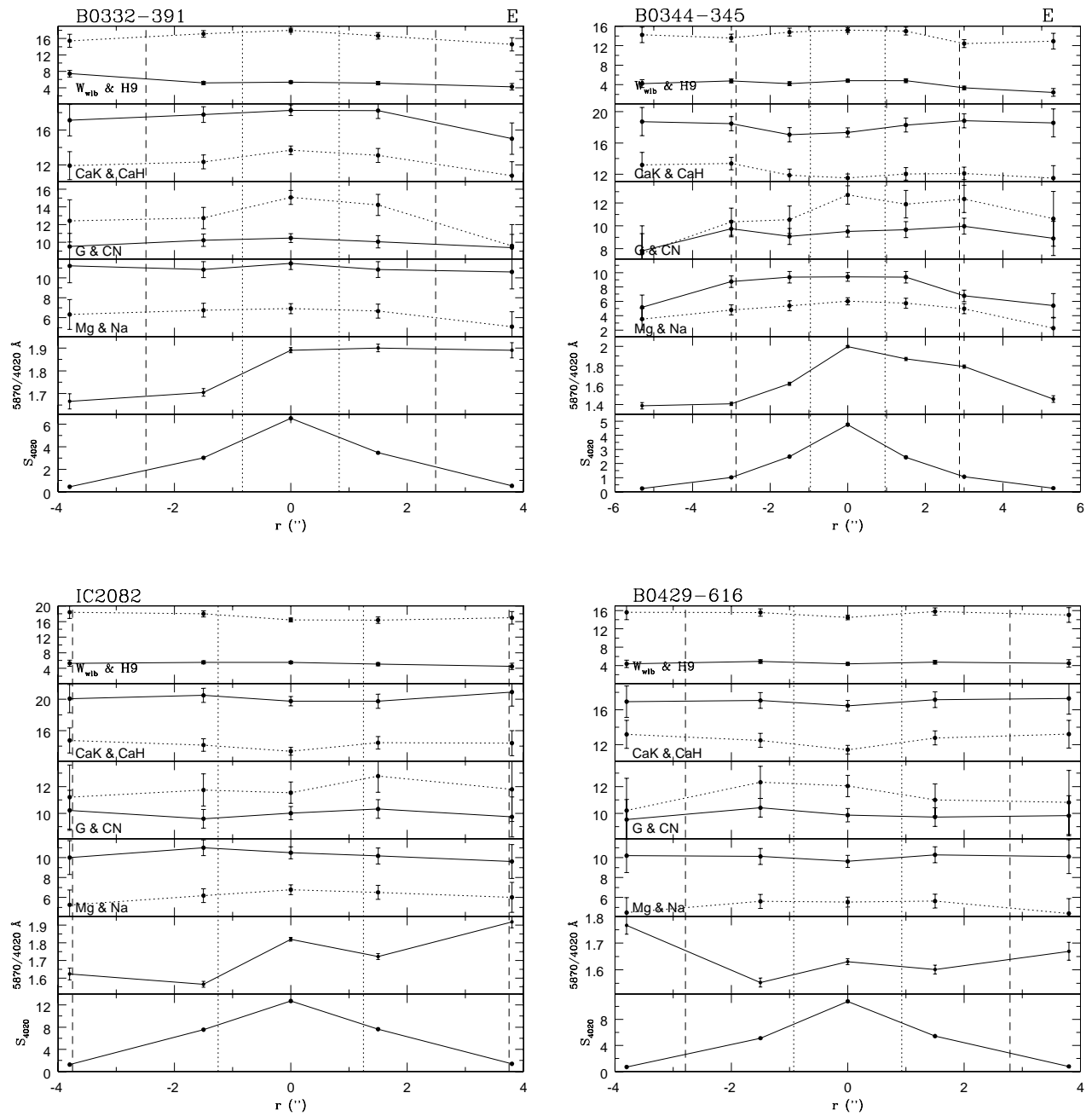


Fig. 3.14: Rádio-galáxias: variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

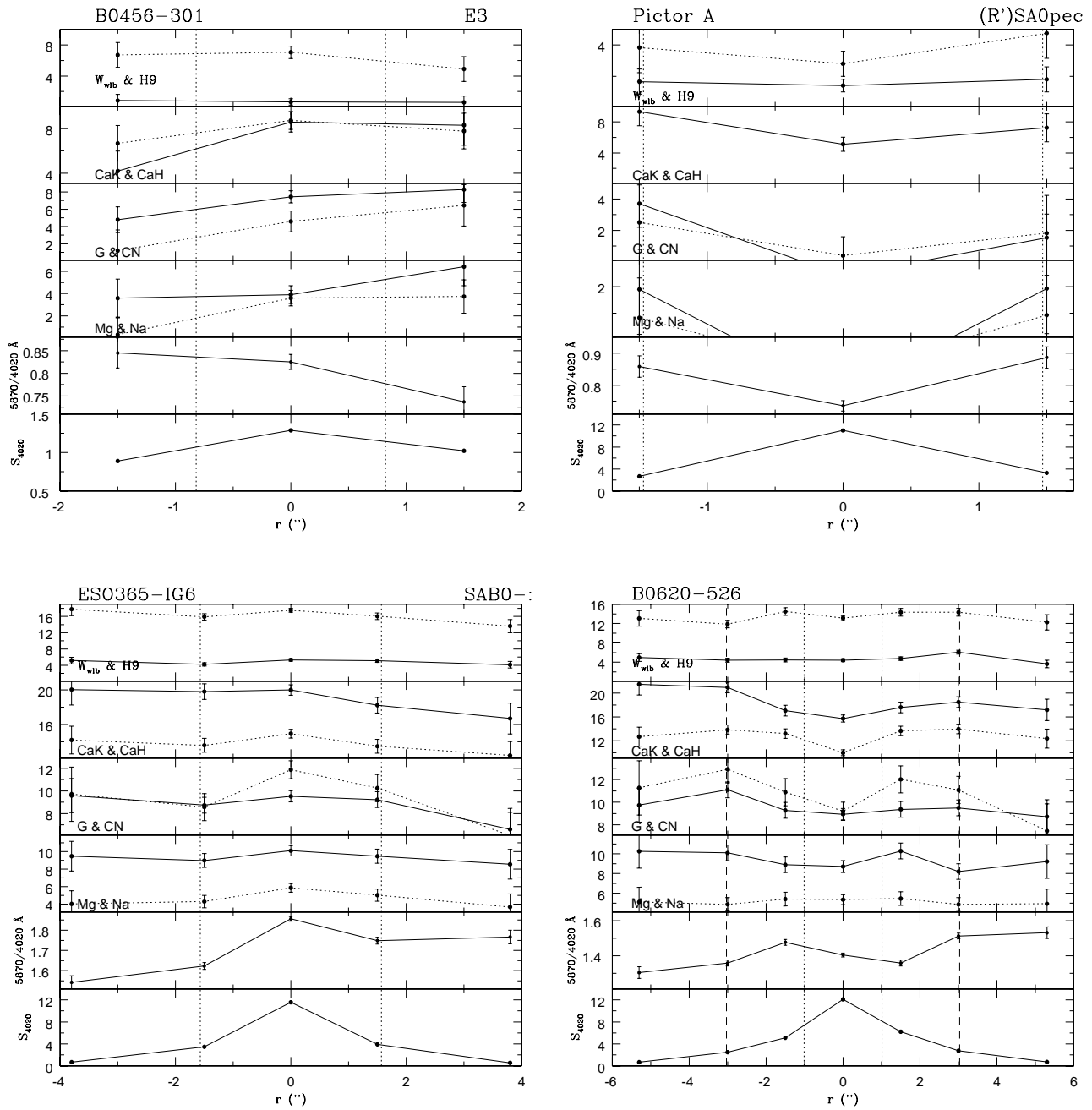


Fig. 3.15: Rádio-galáxias: *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020Å , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

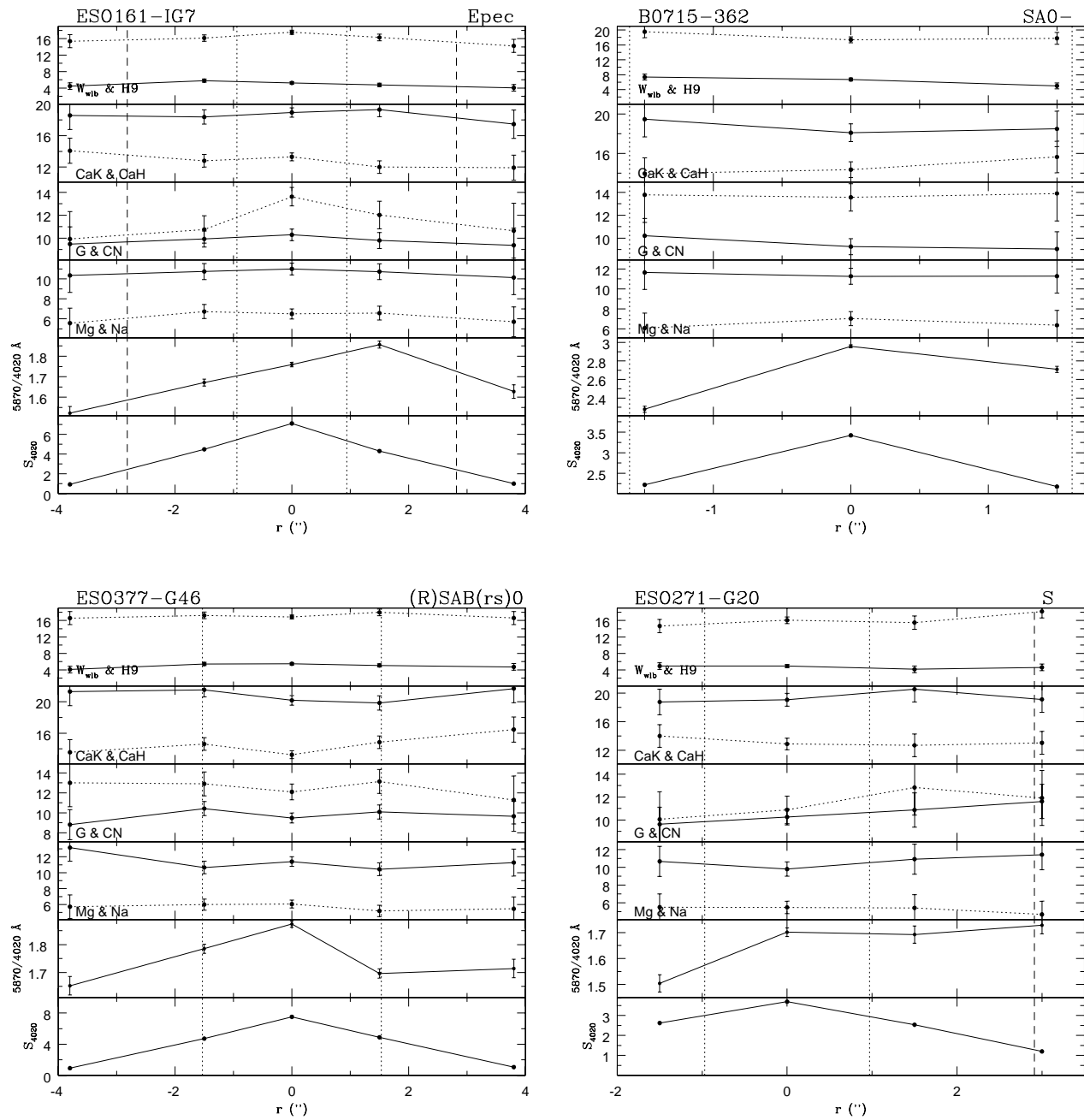


Fig. 3.16: Rádio-galáxias: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

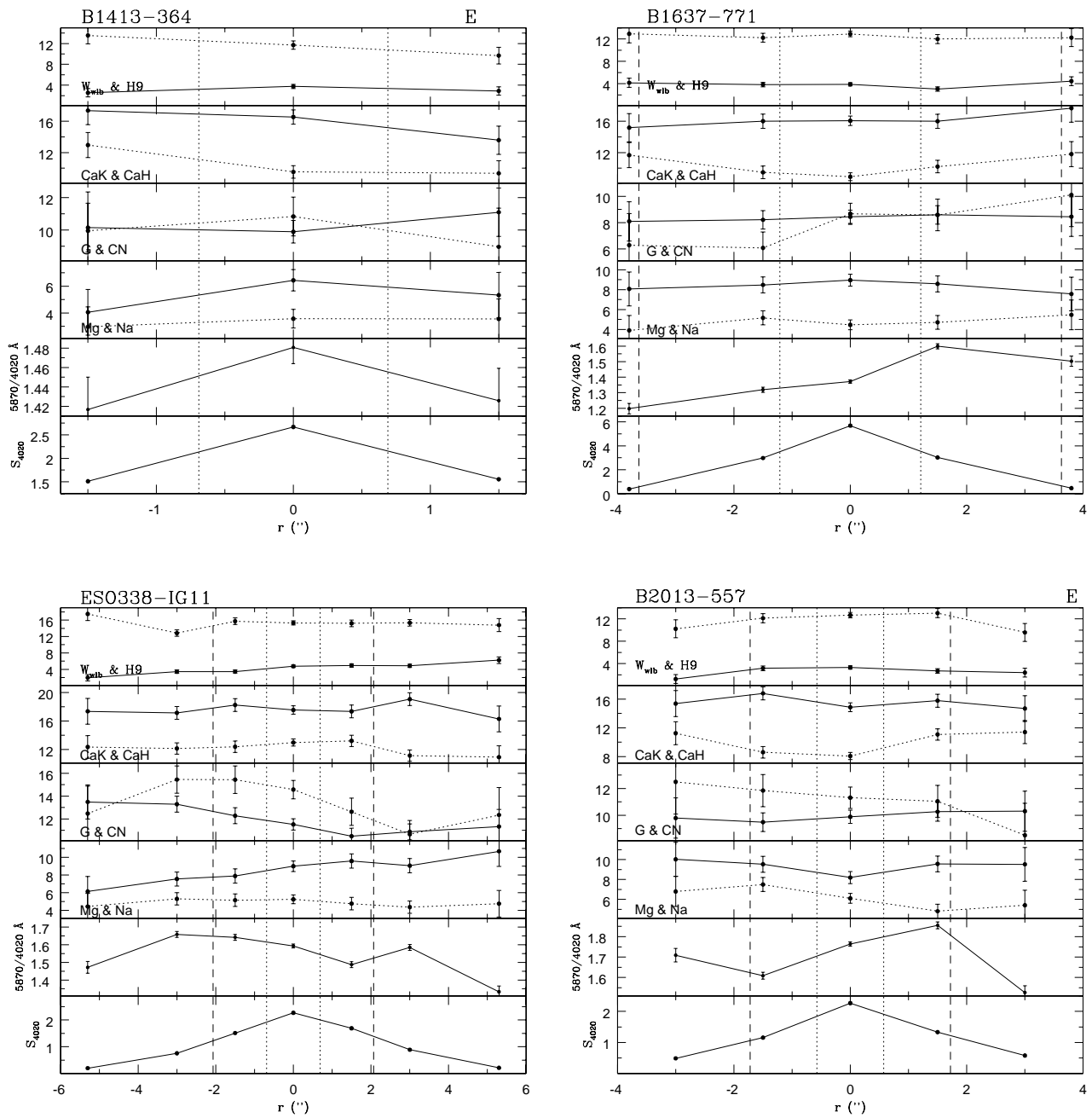


Fig. 3.17: Rádio-galáxias: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

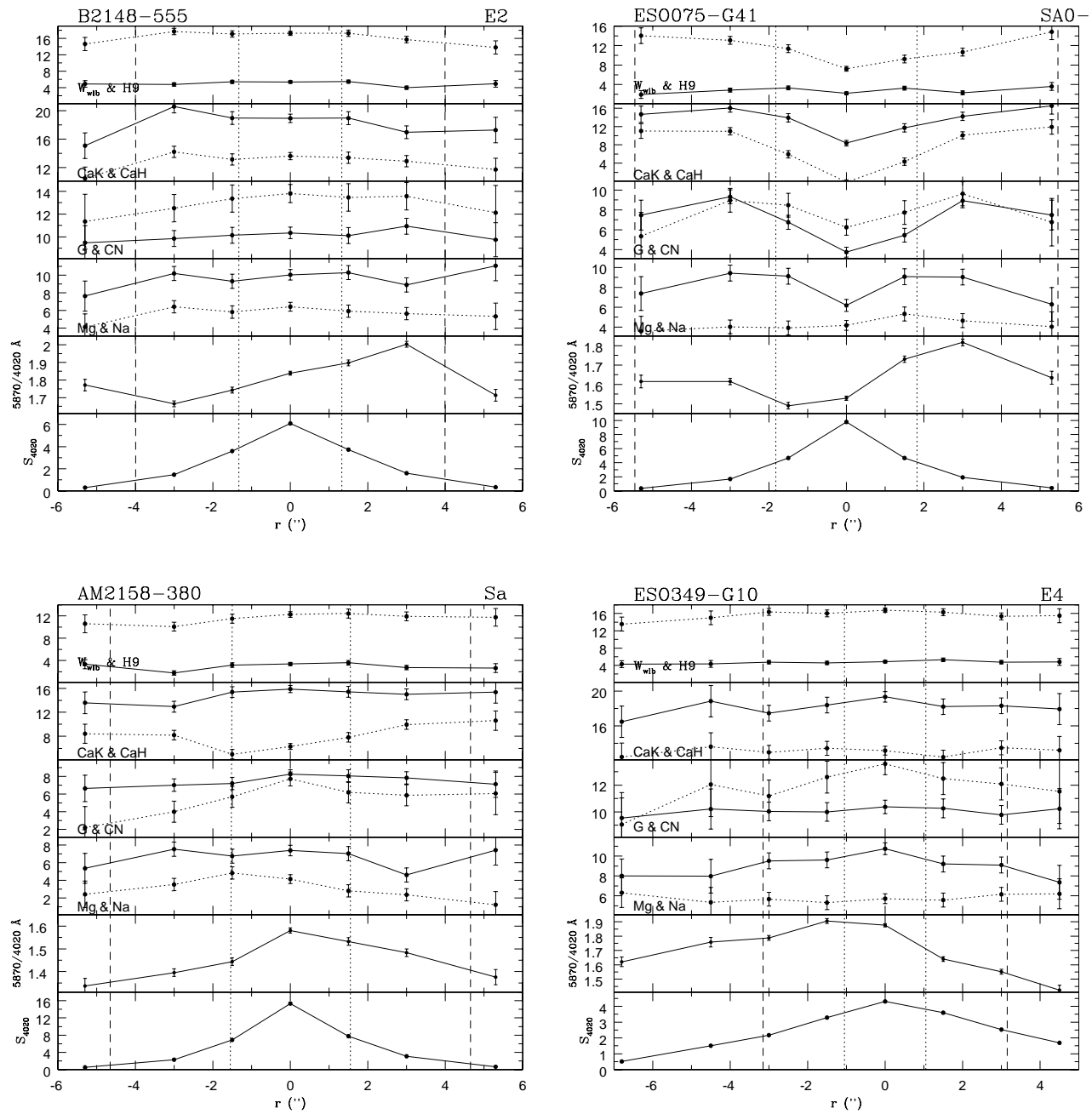


Fig. 3.18: Rádio-galáxias: variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

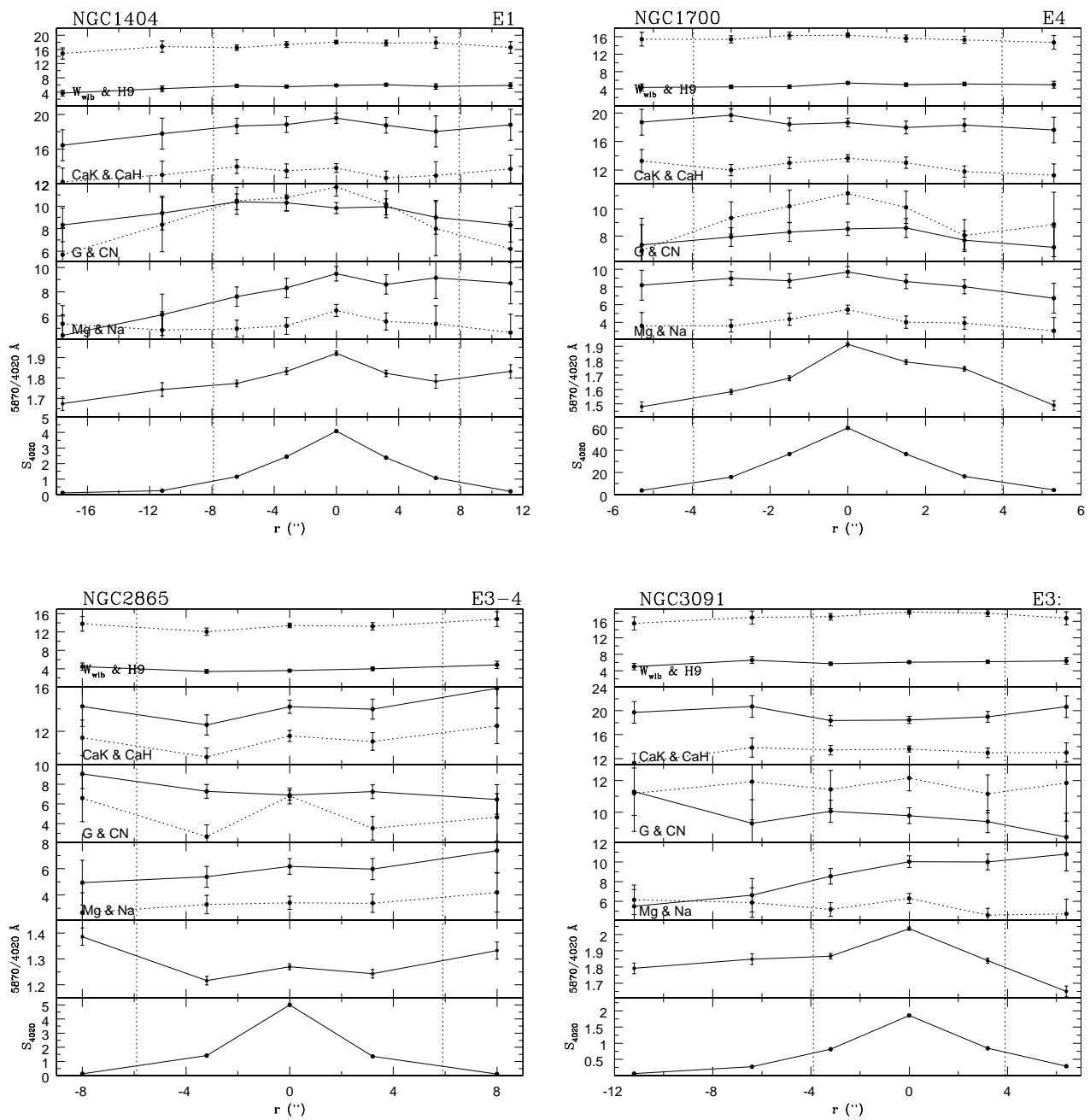


Fig. 3.19: Galáxias elípticas não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020Å , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

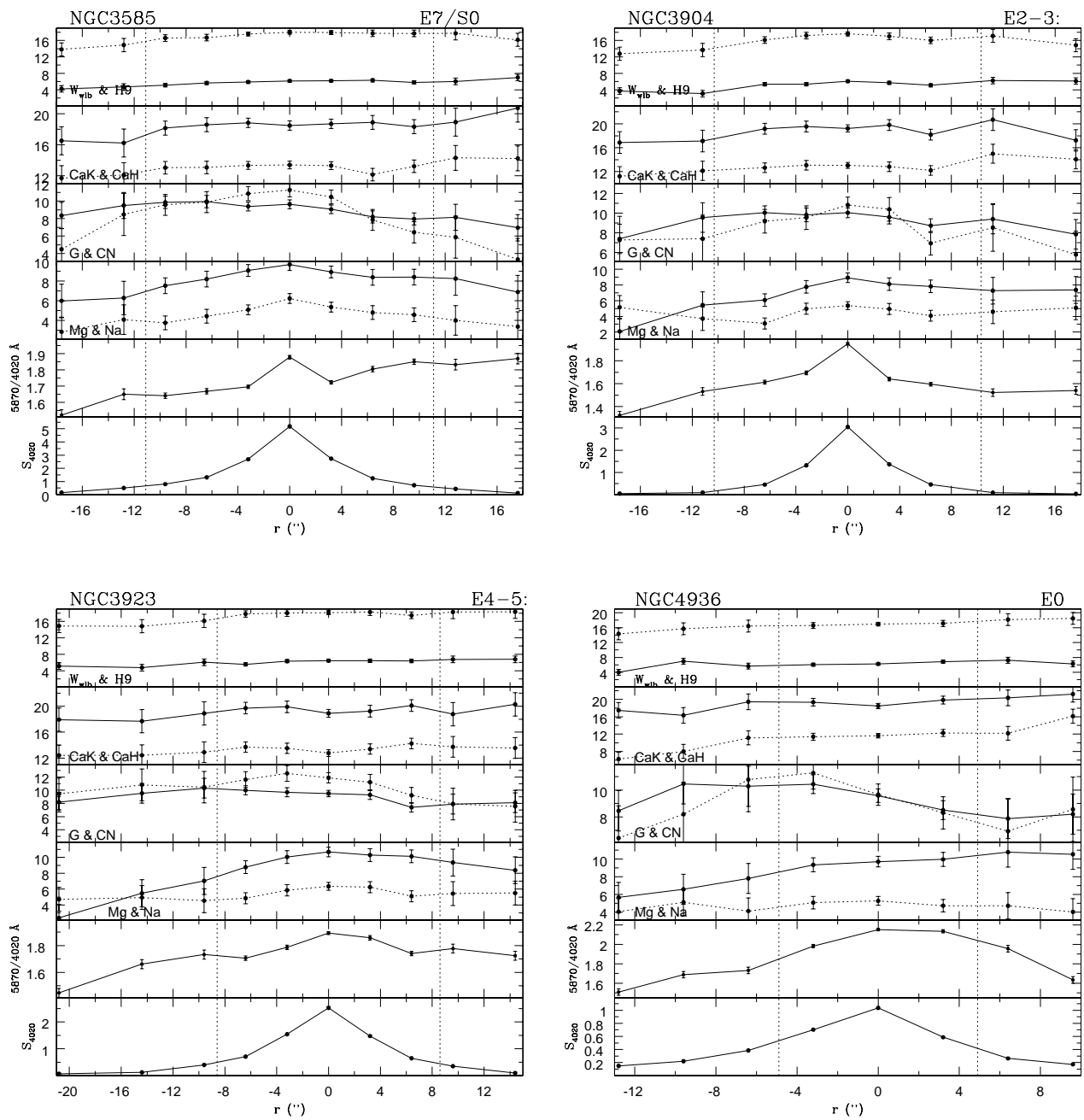


Fig. 3.20: Galáxias elípticas não ativas: variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

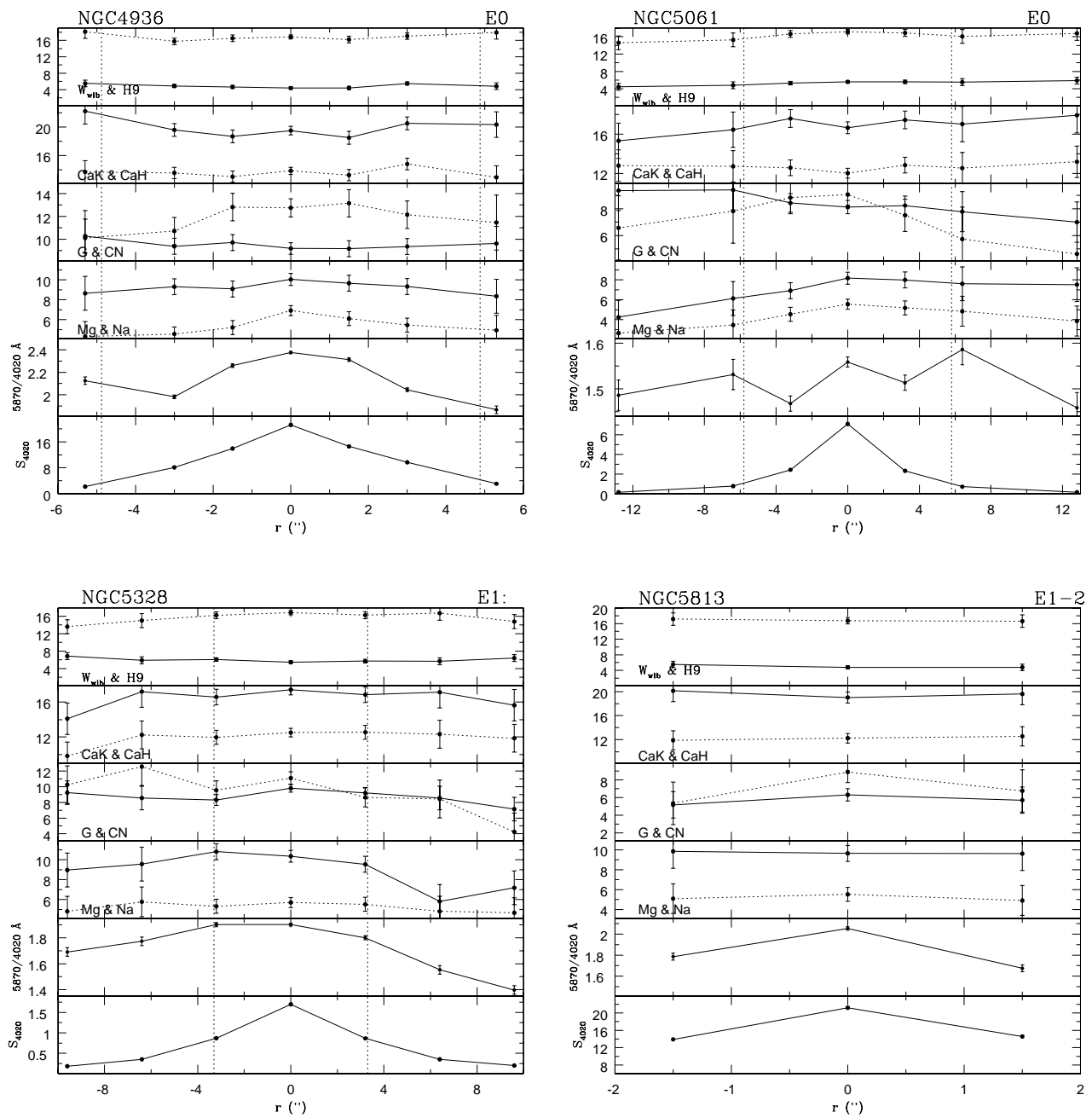


Fig. 3.21: Galáxias elípticas não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

barra. Os demais objetos foram observados através do telescópio de 1,5m do ESO. Para essas três galáxias foram extraídos espectros com bom S/N até cerca de 25-30" do núcleo (de 11 a 13 espectros para cada lado).

Na Fig. 3.22 são apresentadas as medidas de W_s , razões do contínuo e brilho superficial, em função da distância angular ao núcleo, para essas três galáxias. Devido à extensa cobertura e boa resolução espacial, pode-se caracterizar muito bem o comportamento dessas quantidades, em função da distância ao núcleo.

Essas galáxias apresentam um núcleo mais vermelho que as regiões extranucleares, com a razão entre pontos do contínuo 5870 e 4020Å ($C_{5870/4020}$) variando de 1,6-2,0 no núcleo até 1,3-1,6 a 1kpc deste. As W_s são maiores no núcleo do que fora. Valores nucleares típicos são: $W_{wlb}=6\text{Å}$, $W_{H9}=20\text{Å}$, $18 < W_{CaIIK} < 20\text{Å}$, $12 < W_{CaI IH+H\epsilon} < 14\text{Å}$, $W_{bandaG}=11\text{Å}$, $15 < W_{bandaCN} < 19\text{Å}$, $9 < W_{MgI+MgH} < 12\text{Å}$ e $4 < W_{NaI} < 6\text{Å}$. Estes valores decrescem por $\approx 1-2\text{Å}$ a 1kpc do núcleo e têm uma queda um pouco mais acentuada além dessa distância.

Na Fig. 3.23 são apresentadas as medidas de W_s , razões do contínuo e brilho superficial, em função da distância angular ao núcleo, para as galáxias lenticulares observadas no telescópio de 1,5m do ESO. Para essas quatro galáxias foram extraídos espectros com bom S/N até cerca de 10-15" do núcleo (de 3 a 4 espectros para cada lado).

Essas galáxias também apresentam um núcleo mais vermelho que as regiões extranucleares, com $C_{5870/4020}$ variando de 1,6-2,1 no núcleo. As W_s não apresentam uma variação sistemática como a encontrada nos três objetos anteriores. Em geral os valores nucleares das W_s concordam com as medidas feitas para os outros três objetos. Uma diferença é encontrada em relação a W_{H9} e $W_{bandaCN}$, cerca de 4Å mais baixas para estas quatro galáxias, quando comparadas com as medidas das galáxias lenticulares observadas no telescópio de 3,6m.

3.3.3 Galáxias espirais

As galáxias espirais foram observadas com os telescópios de 1,5m do ESO e do CTIO. Dos objetos observados no CTIO foram extraídos de 1 a 2 espectros para cada lado (além do espectro nuclear), com uma cobertura angular de 3-7". Os objetos observados no ESO tiveram um tempo de exposição três vezes maior, o que possibilitou a extração de 2 a 10 espectros extranucleares para cada lado (dependendo do objeto), com uma cobertura angular de que variou de 6-32" do núcleo.

Na Figs. 3.24 a 3.25 são apresentadas as medidas de W_s , razões do contínuo e brilho superficial, em função da distância angular ao núcleo, para as galáxias espirais observadas no CTIO e nas Figs. 3.26 a 3.28 estão as mesmas medidas para as galáxias espirais observadas no ESO.

Das dezoito galáxias espirais não ativas estudadas, em quatorze delas o núcleo é mais vermelho do que as regiões extranucleares, com $C_{5870/4020}$ variando de 1,0-2,4 no núcleo.

As W_s em geral não apresentam variações significativas desde o núcleo até as regiões mais externas estudadas. Valores nucleares típicos são: $0 < W_{wlb} < 4\text{Å}$, $5 < W_{H9} < 17\text{Å}$, $5 < W_{CaIIK} < 20\text{Å}$, $6 < W_{CaI IH+H\epsilon} < 15\text{Å}$, $3 < W_{bandaG} < 14\text{Å}$, $4 < W_{bandaCN} < 11\text{Å}$, $4 < W_{MgI+MgH} < 11\text{Å}$ e $3 < W_{NaI} < 6\text{Å}$.

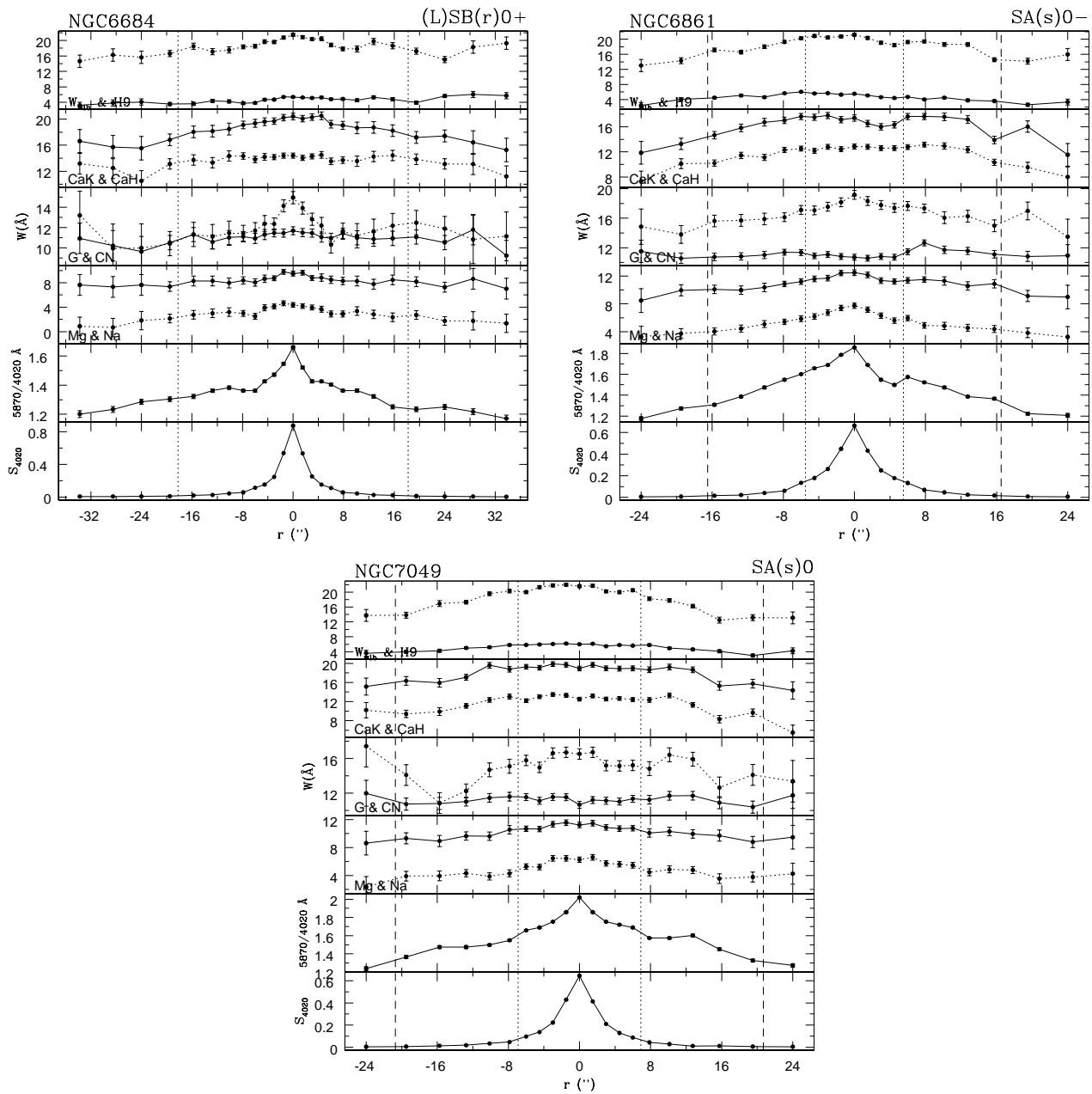


Fig. 3.22: Galáxias lenticulares não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

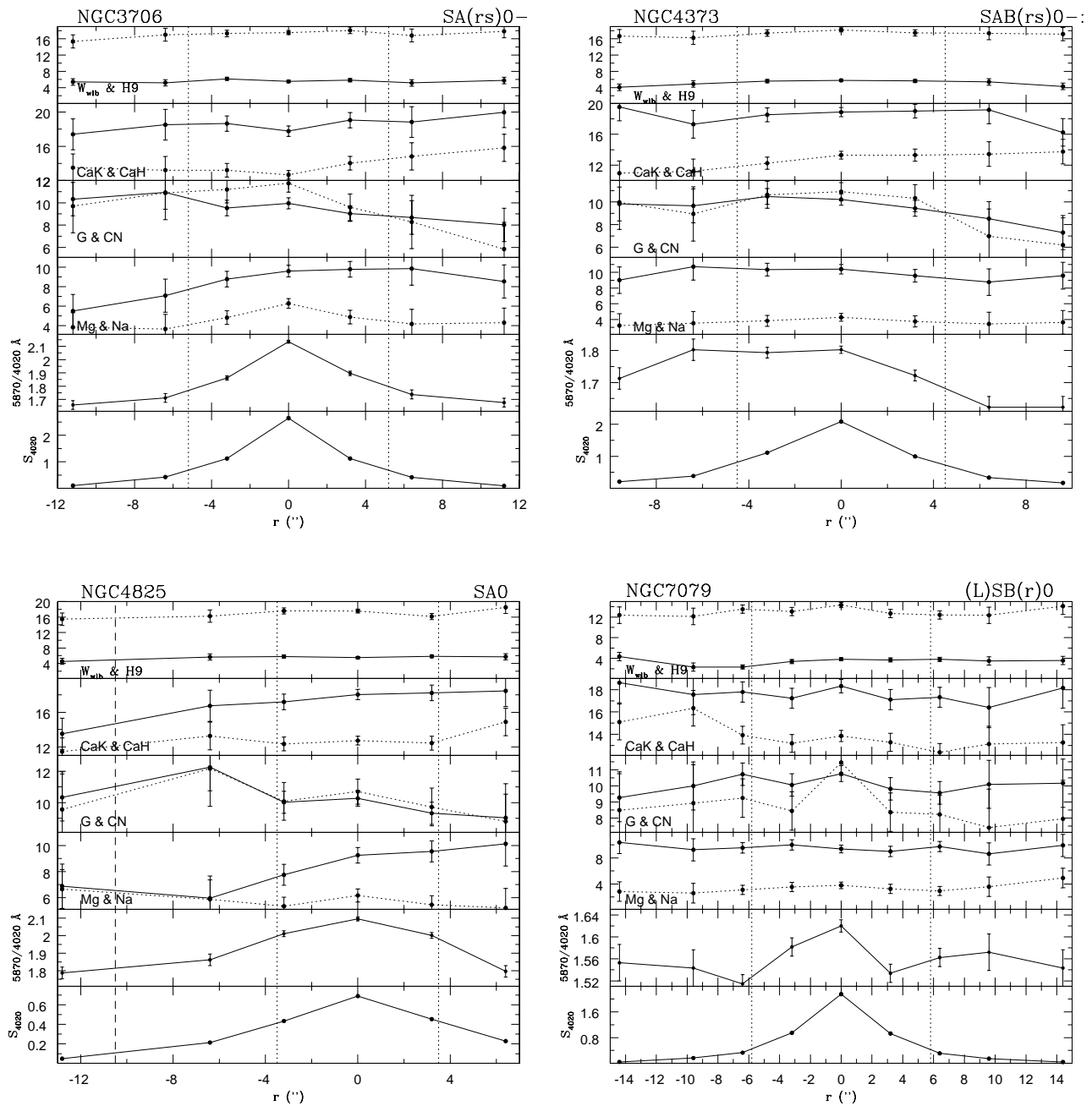


Fig. 3.23: Galáxias lenticulares não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

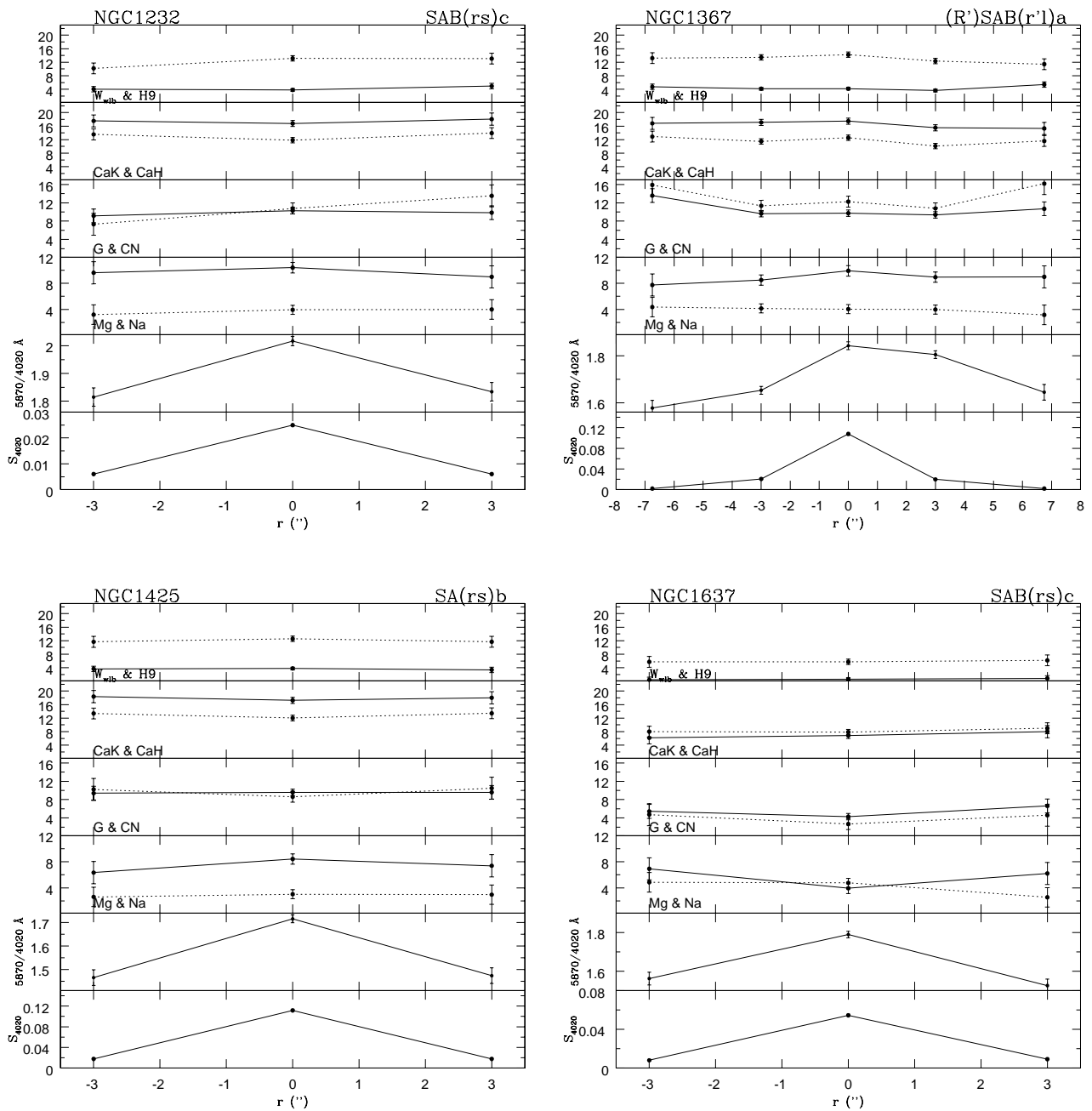


Fig. 3.24: Galáxias espirais não ativas: *variação radial das W_s , contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

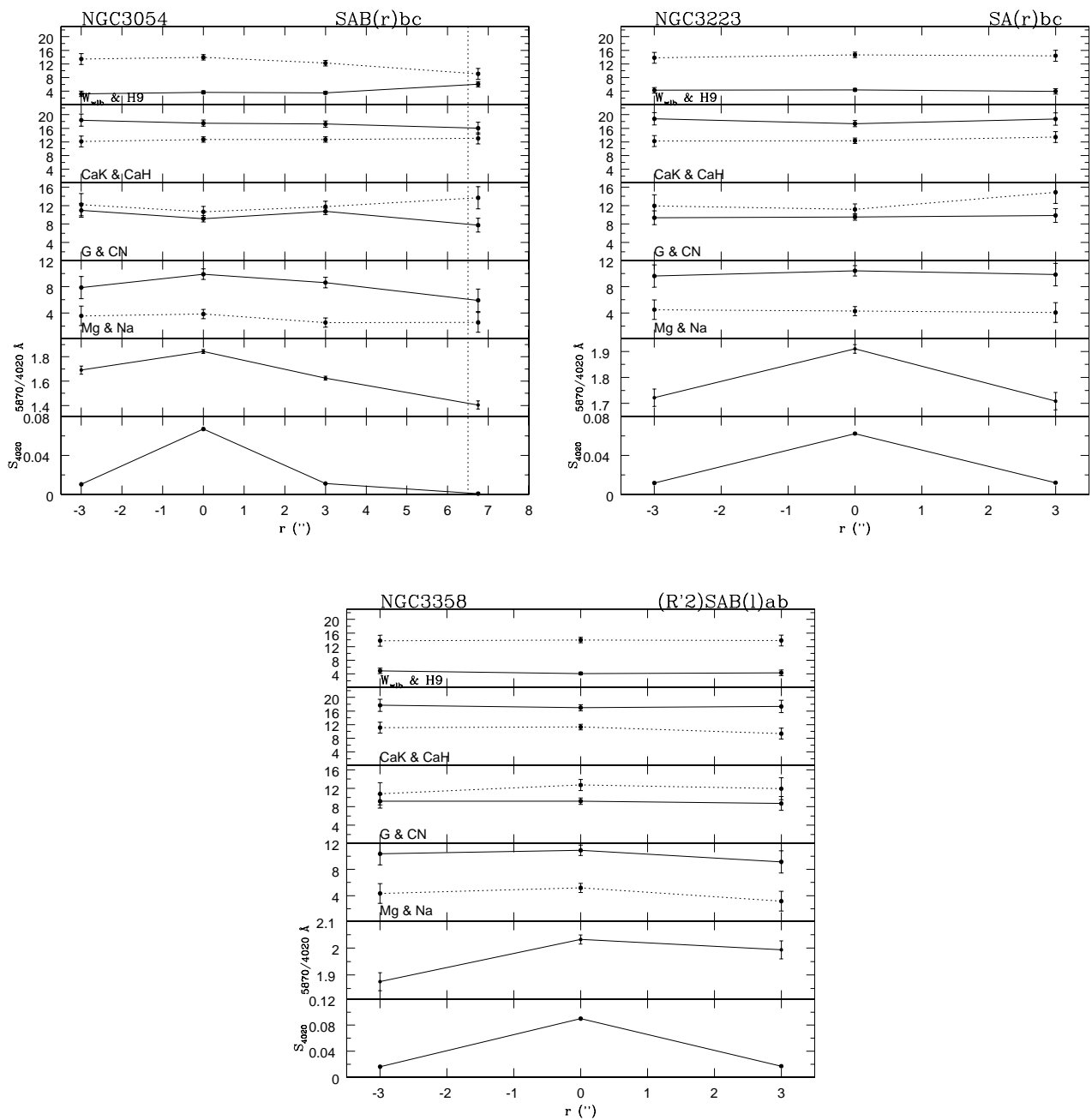


Fig. 3.25: Galáxias espirais não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

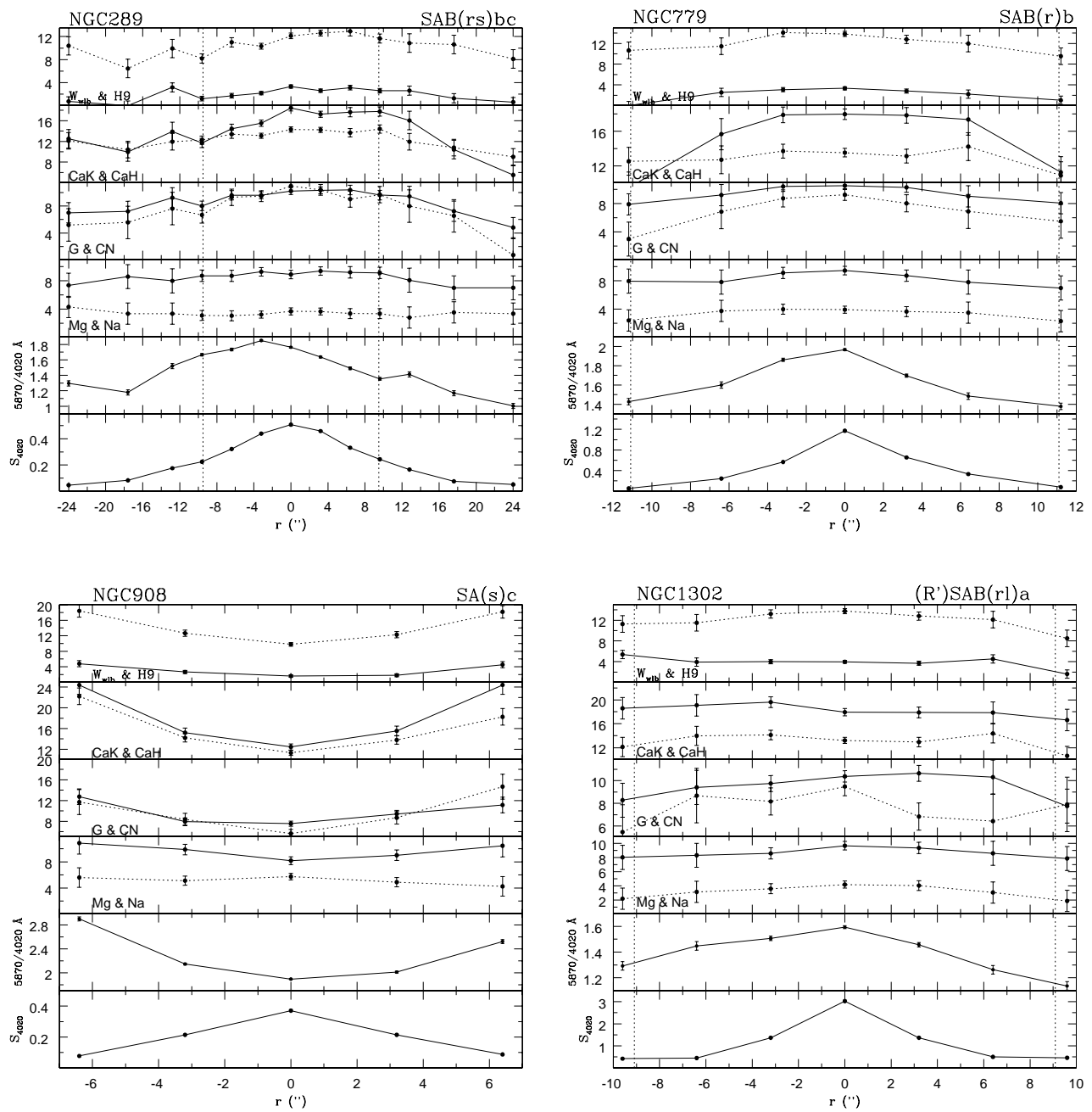


Fig. 3.26: Galáxias espirais não ativas: variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020\AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.

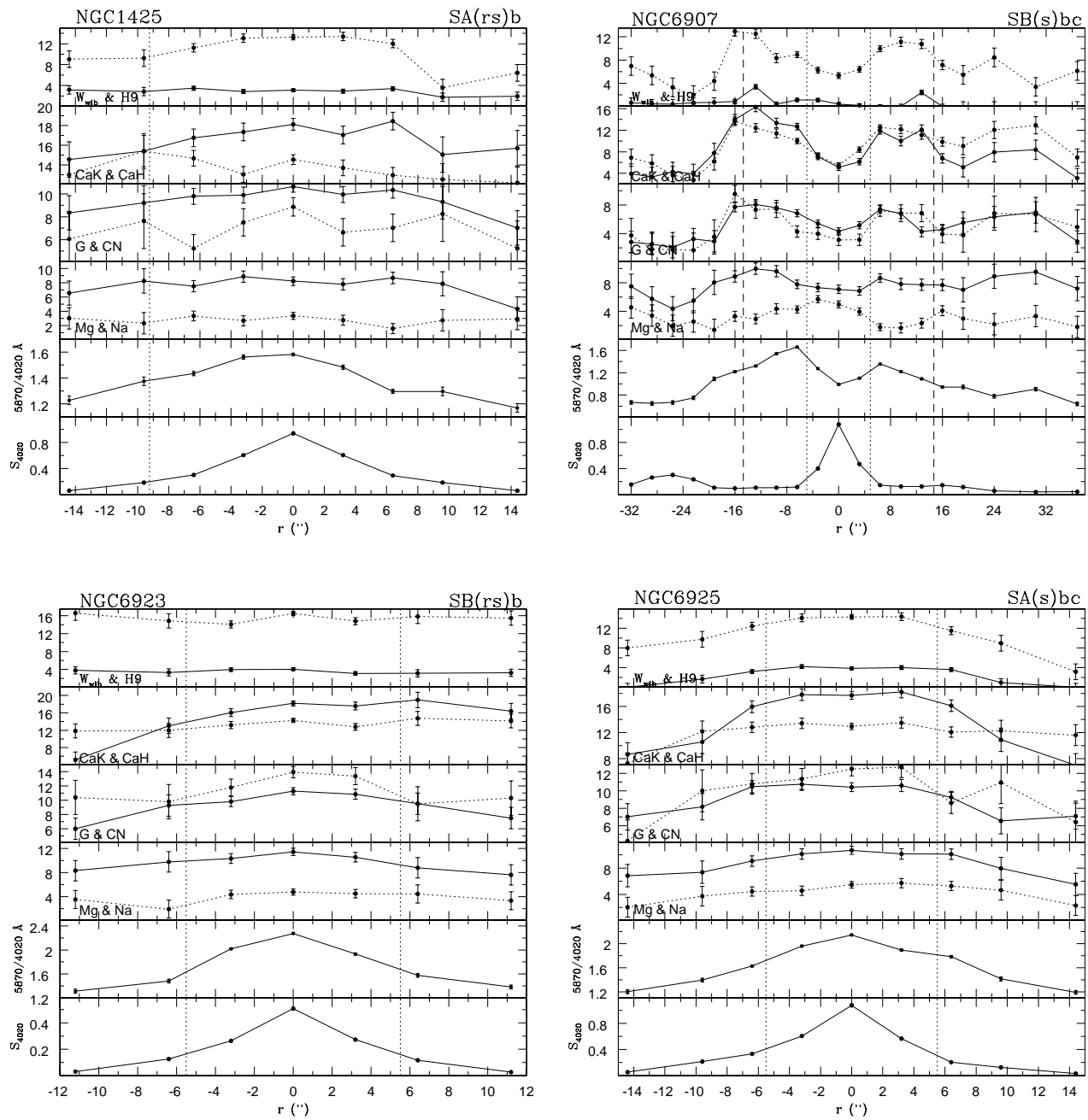


Fig. 3.27: Galáxias espirais não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020Å, em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

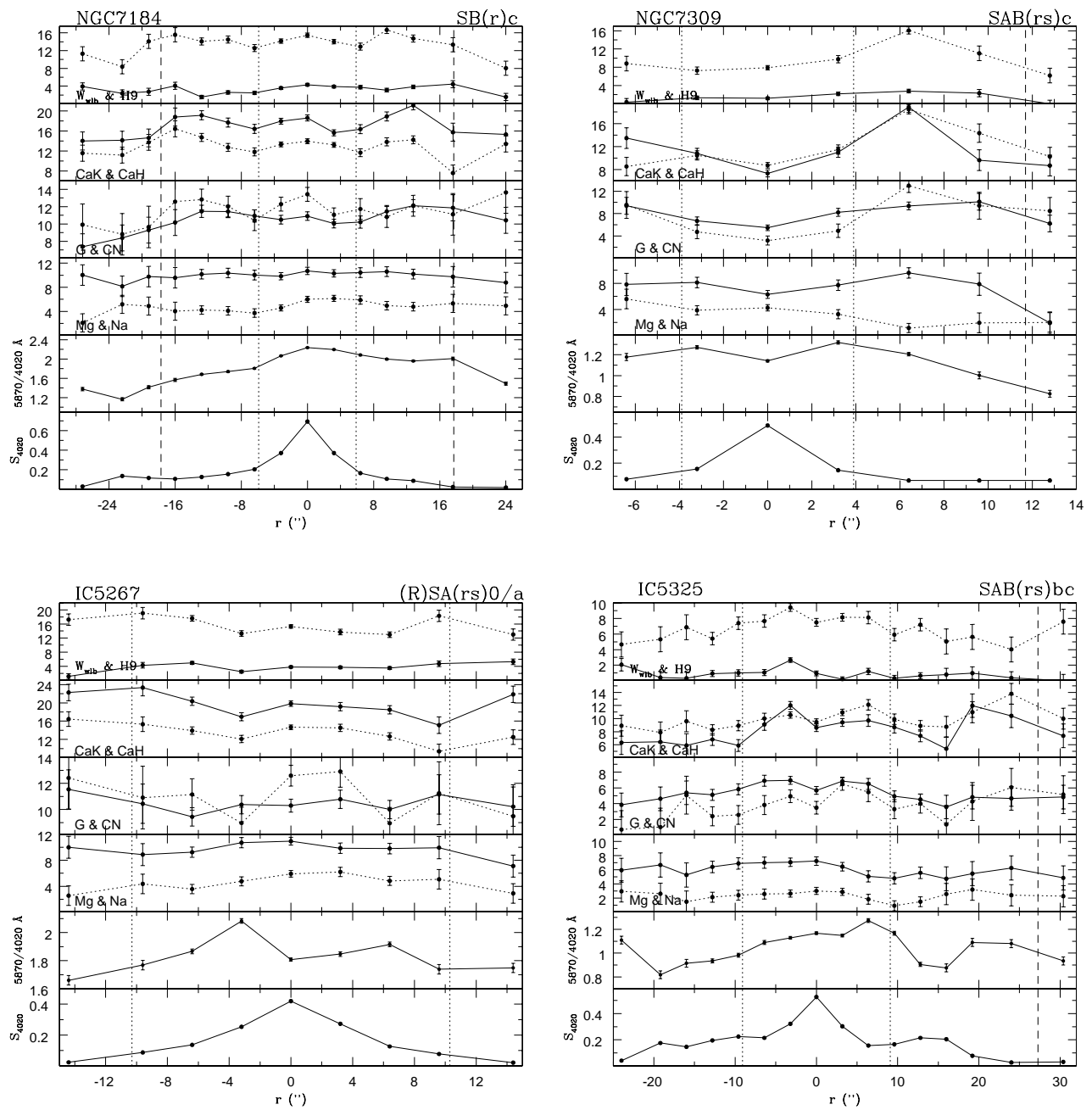


Fig. 3.28: Galáxias espirais não ativas: *variação radial das W s, contínuo e brilho superficial em 4020 \AA , em função da distância angular ao centro da galáxia. A disposição das medidas nos painéis e os símbolos utilizados são os mesmos da Fig. 3.7.*

Tab. 3.3: *Resumo das larguras equivalentes nucleares medidas, por amostras de objetos.*

Amostra	W_{wlb}	W_{H9}	W_{CaIIK}	$W_{CaI(H+H\epsilon)}$	$W_{bandaCN}$	W_{bandaG}	$W_{MgI+MgH}$	W_{NaI}
Seyfert2 (CTIO)	0-4	0-15	3-18	0-15	0-16	2-11	4-10	1-5
Seyfert2 (KNPO)	0-4	0-11	2-16	0-9	3-14	1-10	-	-
Rádio-galáxias	1-7	7-18	8-20	8-15	5-15	4-12	4-11	4-9
Elípticas não ativas	4-7	13-18	14-20	12-14	7-10	7-12	6-11	3-7
Lenticulares não ativas	4-6	14-20	18-20	12-14	10-12	10-19	9-12	4-6
Espirais não ativas	0-4	5-17	5-20	6-15	3-14	4-11	4-11	3-6

Na Tabela 3.3 estão resumidos os intervalos de variação das larguras equivalentes nucleares encontradas em todos os conjuntos de objetos estudados.

Fazendo uma comparação inicial entre os valores encontrados para as rádio-galáxias e aqueles encontrados nas galáxias não ativas lenticulares e elípticas, percebe-se que os limites superiores são parecidos enquanto que, em geral, os limites inferiores das rádio-galáxias são mais baixos, sugerindo que existem rádio-galáxias na amostra com populações mais jovens ou menos metálicas do que aquelas encontradas nas galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble.

Este comportamento se repete quando da comparação entre as W s de galáxias Seyfert e de galáxias não ativas lenticulares. Quando comparadas as W s de Seyfert com as de espirais não ativas as diferenças são menos evidentes, mas ainda presentes.

Como dito anteriormente, esta é apenas uma análise inicial, pois através da síntese espectral será feito um detalhamento maior das populações que compõem cada uma das galáxias estudadas.

Capítulo 4

Síntese espectral de populações estelares

O método de síntese espectral de populações estelares usado neste trabalho tem como objetivo reproduzir um conjunto de características espectrais observadas da luz integrada de uma galáxia (Ws e Cs), através da combinação linear de Ws e Cs de uma base de aglomerados estelares com idades e metalicidades conhecidas. Este método foi desenvolvido por Eduardo Bica e Danielle Alloin nos anos 80 (Bica & Alloin 1986a,b; Bica 1988).

A principal vantagem deste método sobre outros que analisam a luz integrada de galáxias é o fato de que, ao trabalhar com uma base de espectros de objetos observados na natureza (aglomerados estelares), não se necessita fazer hipóteses com relação à função de massa inicial e evolução estelar, pois são parâmetros já intrínsecos da base. As variáveis restringem-se exclusivamente à idade e metalicidade da população.

4.1 Novas características espectrais (Raimann et al. 2001)

Em relação aos trabalhos anteriores, nesta tese foram incluídas duas novas características espectrais na síntese, W_{wlb} (numa região espectral de linhas fracas; janela $\lambda\lambda 3810-3822\text{\AA}$) e W_{H9} (numa região de linhas de absorção que inclui a linha H9; janela $\lambda\lambda 3822-3858\text{\AA}$). Além disso, foram usados valores revisados para W_{CaHK} , de acordo com o estudo dos espectros integrados de aglomerados estelares no ultra-violeta próximo (Bica, Alloin & Schmitt 1994). Essas características espectrais adicionam novos vínculos na determinação da contribuição de populações estelares jovens e intermediárias, e da componente FC proveniente do AGN, para o espectro total do objeto estudado (Storchi-Bergmann et al. 2000).

Com o objetivo de obter valores de referência para essas características espectrais no plano idade versus metalicidade, foram utilizadas as medidas de aglomerados estelares de (Bica, Alloin & Schmitt 1994), que são apresentadas na Fig. 4.1. Seguindo a metodologia de Bica & Alloin (1986a), foram usadas as idades e metalicidades conhecidas dos aglomerados estelares para definir a posição das idades 10 e 100 milhões de anos (daqui para frente 10M e 100M, respectivamente), 1 e 10 bilhões de anos (daqui para frente 1G e 10G, respectivamente), no plano largura equivalente versus metalicidade (W versus $[Z/Z_{\odot}]$). Retas foram ajustadas às posições ocupadas pelos aglomerados de 10G e mais jovens do que 100M, as quais são bem populadas. Subseqüentemente, retas correspondendo às idades 1G e 10M

Tab. 4.1: *Larguras equivalentes das novas características espectrais W_{wlb} , W_{H9} e W_{CaIHK} , em função da idade e metalicidade.*

Idade	$[Z/Z_{\odot}]$	W_{wlb}	W_{H9}	W_{CaIHK}
10G	+0,6	5,9	22,8	22,9
10G	0,0	4,3	17,7	18,6
10G	-1,0	1,7	9,1	11,3
10G	-2,0	0,3	4,3	4,0
1G	+0,6	1,4	7,5	10,4
1G	0,0	1,1	7,3	8,8
1G	-1,0	0,7	7,0	6,0
100M	+0,6	0,4	6,9	3,2
100M	0,0	0,4	6,8	2,9
10M	+0,6	0,3	3,6	1,5
10M	0,0	0,2	3,5	1,3
3M	0,0	0,0	0,0	0,0
FC	- -	0,0	0,0	0,0

foram interpoladas, devido aos poucos aglomerados disponíveis para essas idades. A partir dessas isócronas foram determinados os valores das W s para os elementos da base, em função da idade e metalicidade (Tab. 4.1).

Para as populações mais jovens do que 100M (e 1G, no caso de H9), as larguras equivalentes da Fig. 4.1 são basicamente degeneradas. Entretanto, as correspondentes distribuições do contínuo, que são utilizadas junto com as larguras equivalentes no algoritmo de síntese, não são degeneradas (Bica & Alloin 1986a,b; Bica, Alloin & Schmitt 1994), permitindo dessa forma a determinação das idades.

4.2 Testes e limitações

Com o objetivo de analisar o comportamento das soluções na síntese de espectros galácticos e sob quais condições (erros nas medidas, elementos da base, razão sinal-ruído e faixa espectral) o método dá melhores resultados, foi realizado um conjunto de testes com espectros compostos simulados (Raimann et al. 2001).

Como o interesse do atual trabalho é investigar a população estelar de galáxias com núcleo ativo (AGNs), e em particular, determinar a contribuição de populações jovens, de idade intermediária e da componente FC, foram construídos espectros compostos de teste com uma população velha (10G) contribuindo com 35% do fluxo total em 5870Å, uma população intermediária (1G) contribuindo com 15% e populações de 100M, 10M e 3M, bem como uma componente FC, com contribuições que variam de 0 a 50%. Além disso, foram variadas as contribuições das componentes de diferentes metalicidades. A influência dos erros de medida das W s e C s também foi avaliada.

Através desses testes pôde-se constatar que, para os erros típicos encontrados nos espec-

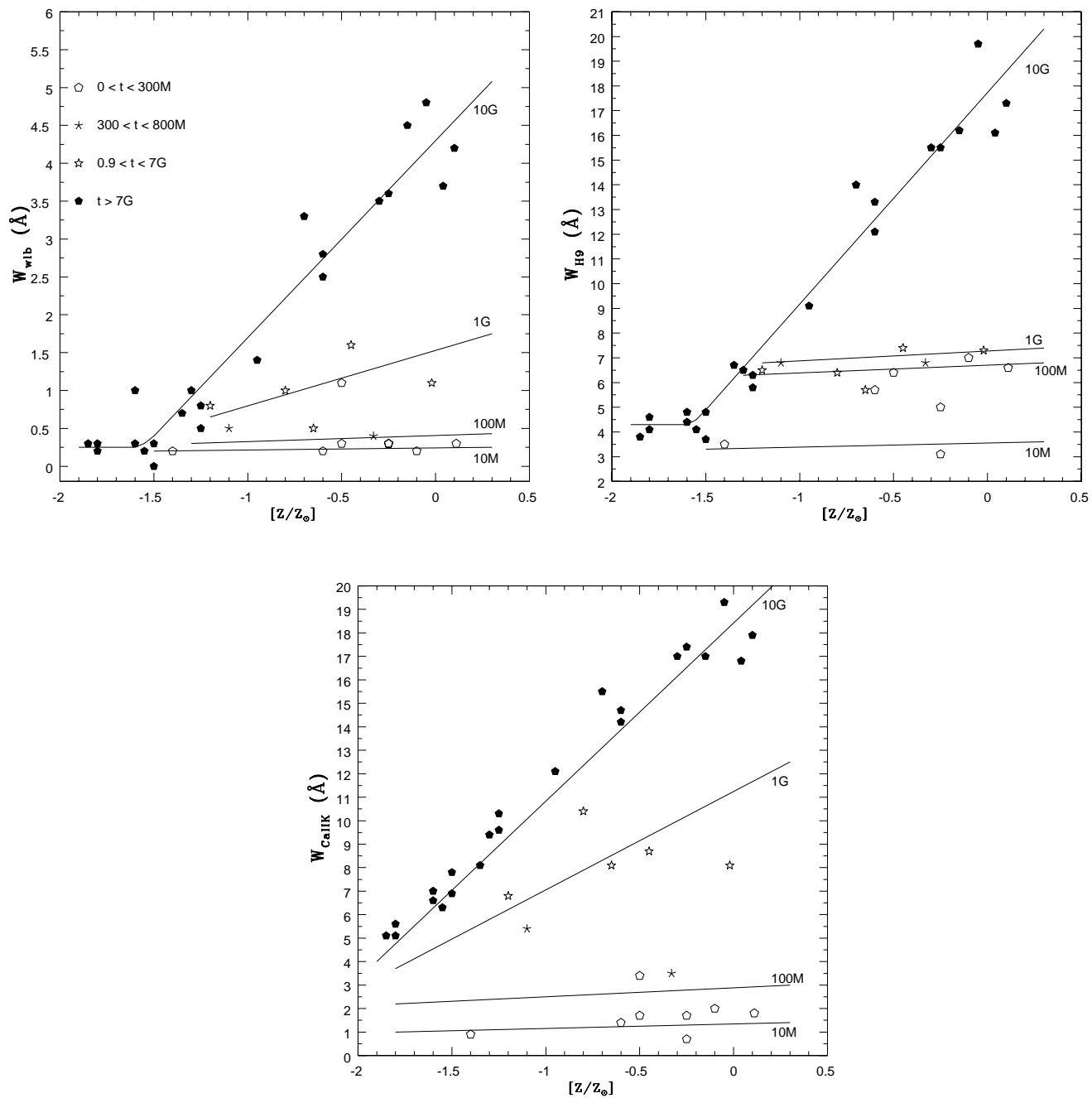


Fig. 4.1: Larguras equivalentes das novas características espectrais W_{wlb} , W_{H9} e W_{CaIIK} , em função da idade e metalicidade.

tros utilizados (capítulo 3):

- O método é capaz de reproduzir adequadamente as proporções das componentes em idade mas não consegue discriminar corretamente as diferentes metalicidades, na região espectral do visível. Essa degenerescência poderia ser quebrada com a inclusão da região do tripleto do Cálcio (8500Å).
- O método não é capaz de diferenciar adequadamente as componentes mais jovens e a componente FC devido ao AGN, pois no visível essas componentes são muito semelhantes. Além disso não se sabe ao certo qual deve ser o índice da lei de potência $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$ que representa a componente FC. Dependendo desse índice, essas componentes podem se tornar diferentes no ultra-violeta próximo.

Diante dessas limitações o trabalho que segue procura agrupar na apresentação dos resultados aquelas componentes que podem apresentar degenerescência significativa. Não é feita uma discriminação em metalicidades e além disso as componentes FC e de 3M são sempre apresentadas como uma componente única, chamada de 3M/FC.

4.2.1 Algoritmo utilizado no trabalho atual

O algoritmo de síntese espectral de populações estelares utilizado nesse trabalho foi desenvolvido por Cid Fernandes et al. (2001) e utiliza a base de aglomerados estelares de Bica e colaboradores (Bica & Alloin 1986; Schmidt et al. 1991; Bica, Alloin & Schmitt 1994; Raimann et al. 2001).

O algoritmo, através de um formalismo probabilístico, estima um vetor de população \mathbf{x} (composto pela contribuição de n_* diferentes componentes da base para o espectro integrado da galáxia) e a extinção A_V , dado um conjunto de W s e C s. Este formalismo calcula as distribuições em torno do valor real de \mathbf{x} e A_V , incorporando desta forma, desde o início, as incertezas devido aos erros observacionais.

Se a base de aglomerados estelares tem n_* elementos representando as populações estelares simples (com idades e metalicidades conhecidas) e W_{ij}^* e F_{ij}^* são respectivamente a largura equivalente da linhas de absorção j e o fluxo do contínuo adjacente à linha j para cada elemento da base, x_i – contribuição fracional de cada elemento da base para o fluxo total em um determinado comprimento de onda – é obtido através do sistema de equações (Joly 1974):

$$W_j = W_j(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_*} W_{ij}^* F_{ij}^* x_i}{\sum_{i=1}^{n_*} F_{ij}^* x_i}; \quad j = 1, \dots, n_W \quad (4.1)$$

onde n_W é o número de linhas de absorção utilizadas na síntese.

Incluindo as C s, tem-se outro sistema de equações que deve ser satisfeito juntamente com o anterior:

$$C_k = C_k(\mathbf{x}, A_V) = g_k(A_V) \sum_{i=1}^{n_*} C_{ik}^* x_i; \quad j = 1, \dots, n_C \quad (4.2)$$

onde C_{ik}^* e n_C são respectivamente a razão de contínuo k do elemento i da base e o número de Cs utilizadas na síntese. Aqui se assume que as populações de diferentes idades e metalicidades sofrem o mesmo efeito de avermelhamento e a função $g_k(A_V)$ representa a lei de avermelhamento utilizada.

As seguintes condições devem também ser obedecidas:

$$\sum_{i=1}^{n_*} x_i = 1 \quad x_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, n_* \quad A_V \geq 0 \quad (4.3)$$

garantindo que a soma da contribuição de todos elementos da base será sempre igual a 100%, e que não existirão contribuições e extinções negativas.

Os dados D que devem ser modelados são compostos de $n_{obs} = n_W + n_C$ observáveis. Os erros de medida $\sigma(W_j)$ e $\sigma(C_k)$ de cada observável são assumidos serem conhecidos. O problema então é estimar \mathbf{x} e A_V que melhor se ajustam aos dados. É igualmente importante estimar as incertezas dos parâmetros.

Se os erros observacionais obedecem a distribuições Gaussianas e os únicos vínculos são aqueles da Eq. 4.3, a probabilidade do par (\mathbf{x}, A_V) , em função de D , σ e H , é proporcional a ϵ :

$$P(\mathbf{x}, A_V | D, \sigma, H) \propto e^{-\epsilon} \quad (4.4)$$

onde ϵ é definido como a metade do valor de χ^2 , uma medida das diferenças entre os valores das quantidades observadas e sintéticas:

$$\epsilon(\mathbf{x}, A_V) = \frac{1}{2} \chi^2(\mathbf{x}, A_V) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_W} \left(\frac{W_j^{obs} - W_j(\mathbf{x})}{\sigma(W_j)} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n_C} \left(\frac{C_k^{obs} - C_k(\mathbf{x}, A_V)}{\sigma(C_k)} \right)^2 \quad (4.5)$$

A Eq. 4.4 contém a solução completa para o problema da síntese, já que apresenta não somente os parâmetros do modelo mais prováveis, mas a distribuição de probabilidade completa de cada um deles. Para se obter as distribuições de probabilidade para cada uma das componentes x_j (e A_V) deve-se “marginalizar” com respeito às demais componentes, ou seja, projetar a distribuição de probabilidade sobre o eixo x_j (e A_V).

A forma utilizada para varrer o espaço de parâmetros e calcular a distribuição de probabilidade de \mathbf{x} e A_V é através do algoritmo Metropolis (Metropolis et al. 1953), o qual explora apenas as regiões com maior probabilidade e, portanto, economiza tempo de processamento.

O algoritmo inicia a partir de um ponto arbitrário e em cada iteração modifica o valor de uma das n_* variáveis escolhida randomicamente por uma quantidade que varia de $-\epsilon$ a $+\epsilon$, produzindo um novo estado $s + 1$. Movimentos na direção de menores χ^2 são sempre aceitos, enquanto que mudanças para estados menos prováveis são aceitos com probabilidade $e^{-(\epsilon_{s+1} - \epsilon_s)}$, evitando assim cair em mínimos locais. O processo é repetido N vezes, o número de iterações ou estados definidos pelo usuário. Este esquema, largamente utilizado na Mecânica Estatística, produz uma distribuição que tende a ser mais correta quanto maior o número de estados verificados.

Este algoritmo não apresenta muitas diferenças em relação àquele utilizado por Bica, Alloin & Schmitt (1994). As principais são: no algoritmo atual os valores das contribuições

Tab. 4.2: *Elementos da base no plano idade-metalicidade.*

3M	10M	100M	1G	10G	[Z/Z _⊙]
	10	8	5	1	+0,6
12	11	9	6	2	0,0
			7	3	-1,0
				4	-2,0

médias dos elementos da base são obtidos levando em conta a distribuição de probabilidade de cada uma delas e a varredura do espaço de parâmetros é feita de forma mais otimizada. Esses dois fatores levam a um algoritmo mais elegante do ponto de vista matemático e mais eficiente do ponto de vista computacional.

4.3 Parâmetros utilizados neste trabalho

Para o estudo da população estelar dos objetos deste trabalho foram utilizadas seis Ws (W_{wlb} , W_{H9} , W_{CaIIK} , $W_{bandaCN}$, W_{bandaG} e $W_{MgI+MgH}$) e quatro Cs (3660/4020, 4510/4020, 5870/4020, 6630/4020Å). A excessão é o conjunto de galáxias Seyfert observadas no KNPO para as quais, devido ao menor intervalo espectral coberto, foram utilizadas apenas cinco Ws (W_{wlb} , W_{H9} , W_{CaIIK} , $W_{bandaCN}$, W_{bandaG}) e duas Cs (3660/4020 e 4510/4020Å). É importante ressaltar que no caso da linha de absorção estar contaminada por emissão a W da linha não foi utilizada na síntese.

Os erros σ adotados foram 0,5Å para W_{wlb} , W_{H9} , W_{CaIIK} e W_{bandaG} , 0,4Å para $W_{MgI+MgH}$ e 1,0Å para $W_{bandaCN}$, e 0,05 para as Cs. O número de estados amostrados foi sempre igual a 10^8 .

Foram utilizadas doze componentes do plano idade-metalicidade, conforme a Tab. 4.2. Uma 13ª componente foi utilizada representando a componente FC devido à luz do AGN. Esta componente tem a forma $F_\nu \propto \nu^{-1.5}$.

Os resultados apresentados correspondem à contribuição média de cada uma das componentes da base para o fluxo total em 4020Å. Apesar da utilização de treze componentes no cálculo da síntese, sabe-se que para o S/N e faixa espectral dos objetos estudados algumas componentes apresentam forte degenerescência. Esse é o caso das componentes de mesma idade e metalicidades diferentes e das componentes FC e de 3M. Sendo assim, os resultados são apresentados somando-se as componentes de mesma idade e as componentes FC e de 3M (chamada 3M/FC). Assim, fica-se na prática com apenas 5 tipos diferentes de populações, 10G, 1G, 100M, 10M e 3M/FC.

A lei de extinção utilizada na síntese é aquela dada por Cardelli, Clayton & Mathis (1989), com $R_V=3.1$. O avermelhamento $E(B-V)$ é calculado a partir da extinção A_V através da expressão $E(B-V)=A_V/R_V$.

4.4 Espectros sintéticos

Os espectros sintéticos das galáxias, apresentados no próximo capítulo, foram contruídos usando dois conjuntos de espectros de populações estelares simples disponíveis: os templates de aglomerados estelares de Bica & Alloin (1986, 1987) e os espectros sintéticos de populações estelares simples de Bruzual & Charlot (2003). Os espectros de Charlot & Bruzual foram utilizados para as componentes da base que não eram cobertas pelos espectros originais de Bica e Alloin. Para a construção dos espectros sintéticos das galáxias, os espectros da base foram combinados de acordo com as proporções que resultam da síntese de populações estelares.

Capítulo 5

Resultados da Síntese

Neste capítulo são apresentados os resultados da síntese espectral de populações estelares aplicada aos diferentes objetos estudados. O método foi aplicado a todos espectros com S/N suficiente para o estudo da sua população estelar, tanto na região nuclear quanto extranuclear. Os resultados são as contribuições percentuais de cinco diferentes tipos (essencialmente idades) de populações (10G, 1G, 100M, 10M e 3 M/FC) para o fluxo total em 4020Å. Também o avermelhamento interno das galáxias $E(B-V)$ é apresentado.

Todos os resultados são mostrados em figuras com a mesma estrutura, onde as diferentes quantidades são apresentadas em função da distância ao núcleo da galáxia: no primeiro painel está $E(B-V)$, no segundo a contribuição da componente 3M/FC, no terceiro 10M, no quarto 100M, no quinto 1G e no sexto 10G. As barras verticais representam o desvio padrão dos resultados. As linhas verticais pontilhadas correspondem à distância de 1 kpc do núcleo e as tracejadas à distância de 3 kpc. Quando essas linhas não estão presentes a extensão correspondente na galáxia é menor do que 1 kpc. Algumas figuras encontram-se neste capítulo, como exemplos dos resultados. No Anexo A foi colocada a maior parte das figuras dos resultados, com o objetivo de permitir uma leitura mais linear deste capítulo.

Aqui estão também alguns exemplos de espectros sintéticos nucleares e extranucleares, obtidos a partir dos resultados da síntese. Os espectros sintéticos são mostrados junto aos espectros originais corrigidos por avermelhamento. No Anexo B estão os espectros nucleares sintéticos e corrigidos daquelas galáxias ativas que não foram apresentadas neste capítulo.

5.1 Galáxias Seyfert

Devido à menor cobertura espectral do conjunto de galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO, os resultados para a amostra total de Sy2 serão apresentados separadamente num primeiro momento, com a síntese sendo realizada com menor número de observáveis para o primeiro conjunto e com o número de observáveis completo para as Sy2 observadas no CTIO. Num segundo momento serão apresentados os resultados da síntese restrita também para o segundo conjunto, o que permitirá avaliar as diferenças entre se fazer a síntese completa e a restrita, além de permitir que se trabalhe com todas as Sy2 como uma única amostra.

5.1.1 Amostra observada no KPNO

As galáxias Seyfert 2 desta amostra apresentam populações estelares muito diferentes umas das outras. Este primeiro resultado evidencia o quão imprópria é a técnica de assumir como

Tab. 5.1: *Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO. No primeiro grupo estão as S0, no segundo as Sa-Sb, no terceiro as Sbc e no quarto as de tipo morfológico incerto.*

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc
<i>S0</i>												
Mrk3	50	56	–	20	37	–	10	5	–	20	2	–
Mrk348	60	49	–	20	35	–	12	10	–	8	6	–
Mrk573	65	60	–	21	29	–	10	7	–	4	4	–
Mrk1066	24	33	–	23	40	–	36	17	–	17	6	–
NGC1386	48	50	–	42	38	–	7	4	–	3	8	–
NGC2110	53	50	–	32	43	–	10	4	–	5	3	–
<i>Sa-Sb</i>												
Mrk1073	21	39	26	31	25	30	32	22	36	16	14	8
NGC1068	29	25	43	26	26	26	28	31	24	17	18	7
NGC5135	16	24	45	20	29	31	34	31	18	30	16	6
NGC5929	61	53	–	27	34	–	8	9	–	4	4	–
NGC7130	19	29	25	14	23	26	48	36	38	19	12	11
<i>Sbc</i>												
Mrk533	26	23	18	19	22	40	41	18	28	14	37	14
IC3639	36	26	17	31	30	23	24	30	36	9	14	24
<i>S</i>												
Mrk1	28	33	64	22	34	17	30	27	15	20	6	4
Mrk34	45	40	37	29	37	45	16	12	12	10	11	6
Mrk78	24	27	–	51	48	–	21	20	–	4	5	–
Mrk273	19	18	23	29	33	38	44	41	32	8	8	7
Mrk463E	24	19	15	15	17	20	20	28	46	41	36	19
Mrk477	17	15	18	16	16	29	26	36	36	41	33	17
NGC7212	57	55	48	16	18	40	12	9	8	15	18	4

padrão de população da galáxia hospedeira, um template de bojo de galáxia elíptica, como feito em trabalhos anteriores (p.ex. Koski 1978; Kay 1994; Tran 1995). Essa simplificação do problema leva a conclusões errôneas, como por exemplo, a super estimativa da componente FC e sobre a necessidade da presença da componente FC2 para explicar a forma do contínuo, assuntos já discutidos no Cap. 3 deste trabalho.

Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se nas Figs. 5.1 e 5.2, que mostram alguns exemplos, e nas Figs. A.1 a A.4, no Anexo A, para as demais galáxias. Na Tab. 5.1 são sumarizados os resultados da síntese para as Sy2 observadas no KPNO. Os resultados foram agrupados em intervalos de idade (10G, 1G, 100M+10M, 3M/FC) para as regiões nuclear, 1 kpc e 3 kpc do núcleo (foi feita uma média dos resultados encontrados em cada lado da galáxia). As galáxias estão separadas quanto ao seu tipo morfológico. Tipicamente, os erros associados às contribuições dos quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å, apresentadas nas tabelas deste capítulo são menores do que 10%.

Na Fig. 5.1 são apresentados os resultados da síntese para as galáxias Mrk573, Mrk78, NGC7130 e Mrk477, objetos dominados no núcleo respectivamente pela contribuição das populações de 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC. A Fig. 5.2 traz os resultados para a galáxia NGC1068.

Assim como no caso da galáxia Mrk573 (Fig. 5.1, painel superior esquerdo), outras

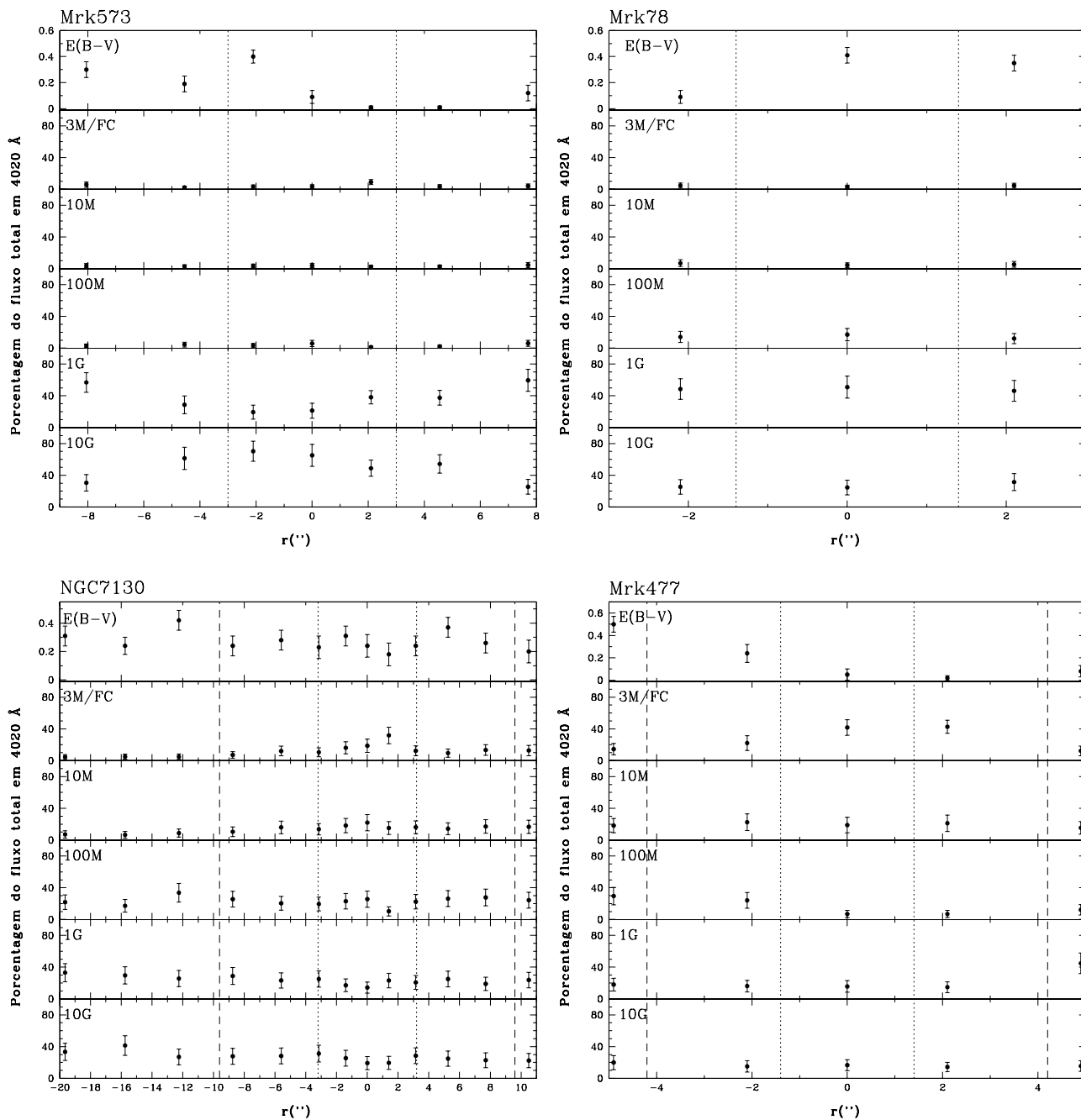


Fig. 5.1: Galáxias Seyfert 2 (KPNO): resultados da síntese: contribuição percentual ao fluxo em 4020\AA das componentes de diferentes idades, em função da distância angular ao centro da galáxia. Linhas verticais pontilhadas correspondem à distância de 1 kpc do centro e as tracejadas à distância de 3 kpc.

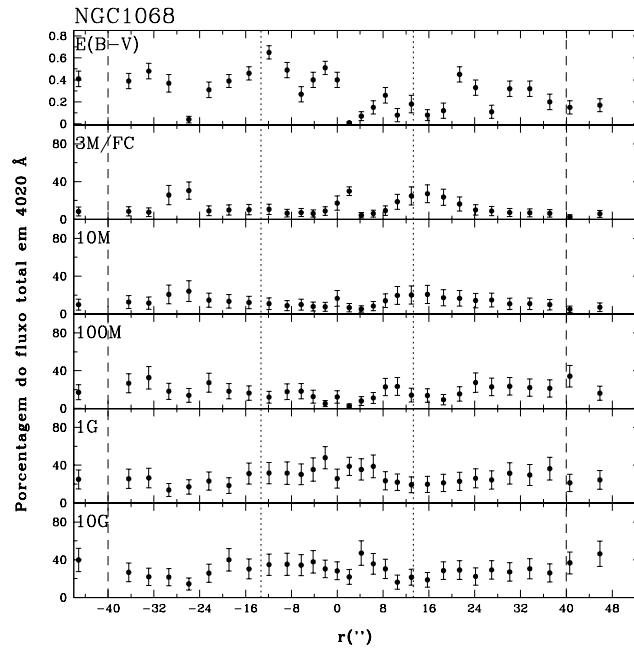


Fig. 5.2: Galáxia Seyfert 2 NGC1068 (KPNO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

cinco galáxias têm uma contribuição de pelo menos 50% da componente de 10G para a luz nuclear. São elas: Mrk3, Mrk348, NGC2110, NGC5929 e NGC7212. As galáxias que apresentam as menores contribuições desta componente são Mrk477, Mrk273, NGC5135 e NGC7130, com menos do que 20% do fluxo total em 4020Å. Em geral a contribuição desta componente varia pouco ao longo dos 6 kpc centrais das galáxias. Apenas em cinco (de vinte) objetos a diferença entre a contribuição nuclear e extranuclear é de pelo menos 10%. Em três casos é menor no núcleo que em 3kpc e em dois acontece o contrário.

Em geral a componente de 1G contribui com patamares menores do que a população mais velha. Ela só é dominante na galáxia Mrk78, apresentada na Fig. 5.1 (painel superior direito). Na região nuclear essa componente contribui com pelo menos 30% do fluxo total em apenas cinco galáxias da amostra (NGC1386, NGC2110, Mrk78, Mrk1073 e IC3639). Já a sua variação ao longo dos 6 kpc centrais é bem maior do que a componente de 10G, em 10 casos a diferença entre a contribuição nuclear e extranuclear é de pelo menos 10%. Em todos estes a contribuição desta componente cresce para fora do núcleo.

Em quatro galáxias as populações de 100M+10M dominam a luz nuclear (Mrk273, Mrk533, Mrk1066 e NGC7130, apresentada no painel inferior esquerdo da Fig. 5.1) e em mais três objetos essas componentes contribuem com pelo menos 30% do fluxo (Mrk1, Mrk1073 e NGC5135). Quanto à variação da contribuição desta população, em nove casos a diferença ao longo da galáxia é de pelo menos 10%, sendo que em seis casos a contribuição dessa componente cai para fora do núcleo, comportamento contrário ao da componente de 1G.

Em apenas duas galáxias a componente de 3M/FC domina a luz nuclear (Mrk463E e Mrk477, apresentada no painel inferior direito da Fig. 5.1) e em mais uma contribui

com pelo menos 30% do fluxo (NGC5135). No núcleo, esta componente contribui com mais do que 10% do fluxo total em mais oito galáxias. Ao longo da galáxia, nove objetos apresentam diferenças entre a contribuição nuclear e extranuclear de pelo menos 10%, sendo que em oito casos a contribuição desta componente cai para fora do núcleo. Sendo ela sensível à contribuição da luz espalhada pelo AGN, o comportamento esperado é de que diminua para fora do núcleo, o que se confirma na maioria dos casos estudados. O fato de se encontrar contribuições não nulas dessa componente fora do núcleo (ou até mesmo contribuições extranucleares maiores do que as nucleares), deve-se a presença de regiões de formação estelar muito jovens ao longo das galáxias espirais (regiões HII, principalmente nos braços das galáxias), cuja forma do contínuo é muito semelhante à do contínuo FC.

Na Fig. 5.3 são mostrados espectros observados (linhas grossas) e sintéticos (linhas finas) do núcleo e de fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares. NGC5929 é dominada pela população de 10G; Mrk1073 tem importante contribuição da população de 1G; Mrk273 é dominada pela população de 100M+10M e Mrk477, dominada pela população de 3M/FC. As linhas de alta ordem da série de Balmer $H8\lambda 3889\text{\AA}$, $H9\lambda 3835\text{\AA}$ e $H10\lambda 3797\text{\AA}$ (características da presença de estrelas jovens e de idade intermediária) podem ser vistas claramente nos espectros nucleares e extranucleares das galáxias Mrk1073 e Mrk273, e nos espectros extranucleares da Mrk477 (no núcleo estão preenchidas por emissão).

Com relação ao avermelhamento interno, todas as galáxias Seyfert 2 observadas no KPNO apresentam um valor de $E(B-V)$ de pelo menos 0,05 no núcleo ou fora. No núcleo, varia de 0 a 0,5 e fora do núcleo de 0 a 0,7. Na maioria destes objetos (15 galáxias), a poeira parece estar distribuída de forma irregular, ou seja, não se encontra um gradiente sistemático. Em apenas cinco objetos existe um gradiente sistemático, sendo que o avermelhamento diminui para fora do núcleo em quatro galáxias.

NGC1068

Pode-se ver da Fig. 5.2 que no núcleo desta galáxia todas as componentes contribuem ao fluxo em 4020\AA com mais do que 10%, mas ressalta-se aqui a importância da componente 3M/FC, que contribui com cerca de 17% do fluxo total em 4020\AA . Este resultado é consistente com a contribuição da luz polarizada de um núcleo Seyfert 1 escondido encontrada por Antonucci et al. (1994).

Fora do núcleo, todas as componentes continuam significativas, contribuindo com mais de 10% e indicando a presença de formação estelar recente ao longo da região observada. Em particular nos “knots” J (a cerca de 750 pc NO do núcleo) e C (a cerca de 2 kpc SE do núcleo) a componente de 3M/FC é tão importante quanto no núcleo, contribuindo com 20 e 25% do fluxo total, respectivamente. Este resultado confirma que são regiões de formação estelar ativas. A partir da síntese, conclui-se que o “knot” C é mais jovem que o J. A 3 kpc do núcleo a componente de 3M/FC não é mais significativa.

Na Fig. 5.4 são comparados os espectros observados (linhas sólidas) com os espectros sintéticos (linhas pontilhadas) para o núcleo e os “knots” C e J.

A partir dos resultados da síntese para esse conjunto de galáxias, as principais características da população estelar são sumarizadas abaixo:

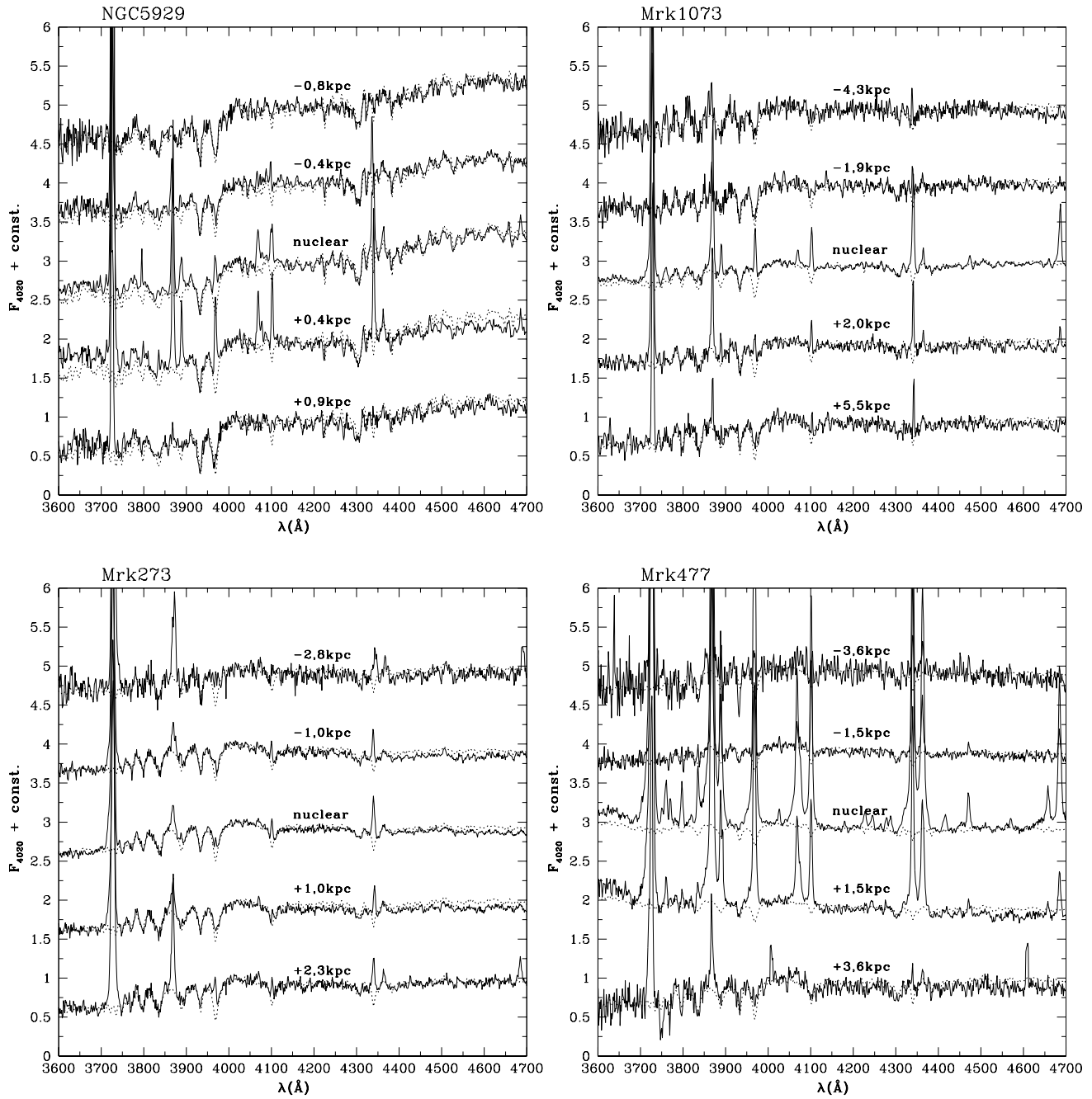


Fig. 5.3: *Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares: NGC5929, dominada pela população de 10G; Mrk1073, com importante contribuição da população de 1G; Mrk273, dominada pela população de 100M+10M e Mrk477, dominada pela população de 3M/FC.*

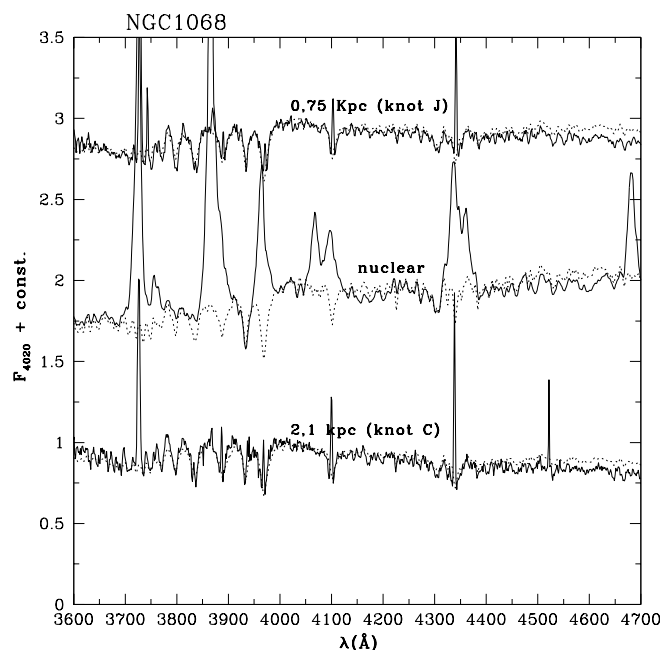


Fig. 5.4: Como na Fig.5.3, para NGC1068 e duas regiões de formação estelar (“knots” C e J).

- No núcleo, 75% da amostra (15 galáxias) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20%. Além disso, 55% da amostra (11 galáxias) têm uma componente 3M/FC significativa (>10%) no núcleo. Esses resultados estão em concordância com aqueles de Schmitt et al. (1999), Storchi-Bergmann et al. (2000) e González Delgado et al. (2001), que encontraram que cerca de 40% das Sy2 próximas têm claras assinaturas de população jovem e outras 30% apresentam um contínuo azul que pode ser atribuído à população jovem e/ou à componente FC.
- A 1 kpc do núcleo, 70% da amostra têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20% e 50% da amostra têm uma componente 3M/FC significativa.
- A 3 kpc do núcleo, 75% dos objetos estudados até esta distância (9 de 12) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20% e 42% têm uma componente 3M/FC significativa.
- A componente de 1G aumenta significativamente para fora do núcleo em 10 galáxias da amostra. Esse é um resultado encontrado em algumas galáxias não ativas (Raimann et al. 2001 e seção 5.3 deste trabalho).

5.1.2 Amostra observada no CTIO

Assim como as galáxias Seyfert 2 da amostra anterior, estas também apresentam uma grande variedade de populações estelares, confirmando mais uma vez que este tipo de galáxias tem

Tab. 5.2: Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020\AA para as galáxias Seyfert 2 observadas no CTIO. No primeiro grupo estão as *S0-S0/a*, no segundo as *Sa-Sab-Sb*, no terceiro as *Sc* e no quarto as de tipo morfológico incerto.

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc
<i>S0-S0/a</i>												
Mrk348	54	41	–	25	48	–	12	8	–	9	3	–
Mrk573	55	58	49	28	22	29	11	12	17	5	8	8
NGC1358	44	42	57	53	53	34	2	4	8	1	2	0
NGC1386	37	52	–	56	46	–	5	4	–	2	1	–
NGC3081	45	42	–	34	34	–	14	19	–	6	3	–
NGC7743	24	37	–	46	52	–	28	9	–	2	2	–
ESO138-G1	16	33	–	38	59	–	43	8	–	3	0	–
ESO362-G8	19	27	29	44	44	57	35	26	12	2	2	2
ESO417-G6	51	45	43	42	48	47	5	6	5	2	3	4
CGCG420-015	75	62	53	17	31	35	6	5	10	2	2	1
Fairall316	56	48	–	40	48	–	3	3	–	2	1	–
<i>Sa-Sab-Sb</i>												
Mrk607	34	35	51	59	44	23	4	19	23	2	3	2
NGC5135	28	20	–	12	23	–	42	44	–	17	15	–
NGC6300	72	–	–	22	–	–	4	–	–	2	–	–
NGC6890	58	–	–	28	–	–	6	–	–	9	–	–
NGC7130	15	33	20	11	27	25	48	33	47	26	8	8
NGC7582	20	–	–	11	–	–	57	–	–	13	–	–
IC1816	12	32	19	78	57	48	5	7	27	5	3	6
MCG-05-27-013	64	50	66	27	43	27	6	6	7	3	2	0
<i>Sc</i>												
NGC5643	38	60	–	44	20	–	14	10	–	4	10	–
<i>S</i>												
Mrk463E	7	8	9	11	12	41	40	34	24	42	46	26
Mrk1210	29	26	–	35	52	–	22	18	–	14	6	–
IRAS11215-2806	76	54	–	18	44	–	5	2	–	1	1	–

populações bastante complexas.

Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se na Fig. 5.5, que mostra alguns exemplos, e nas Figs. A.5 a A.9, no Anexo A. Na Tab. 5.2 são sumarizados os resultados da síntese para as Sy2 observadas no CTIO.

Na Fig. 5.5 são apresentados os resultados da síntese para as galáxias NGC6300, IC1816, NGC5135 e Mrk463E, objetos dominados no núcleo respectivamente pela contribuição das populações de 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC.

A população de 10G é dominante ($> 50\%$ do fluxo em 4020\AA) em nove galáxias desta amostra, sendo que em três delas é maior do que 70% (CGCG420-015, IRAS11215-2806 e NGC6300, apresentada no painel superior esquerdo da Fig. 5.5). Em apenas um objeto é menor do que 10% (Mrk463E). Em dez objetos encontra-se diferenças entre a contribuição nuclear e extranuclear de pelo menos 10% , sendo que na maioria destes (sete) a contribuição extranuclear é maior do que a nuclear.

Para esta amostra de galáxias Seyfert 2, a componente nuclear de 1G contribui com pelo menos 30% do fluxo em doze objetos, proporção significativamente maior do que aquela

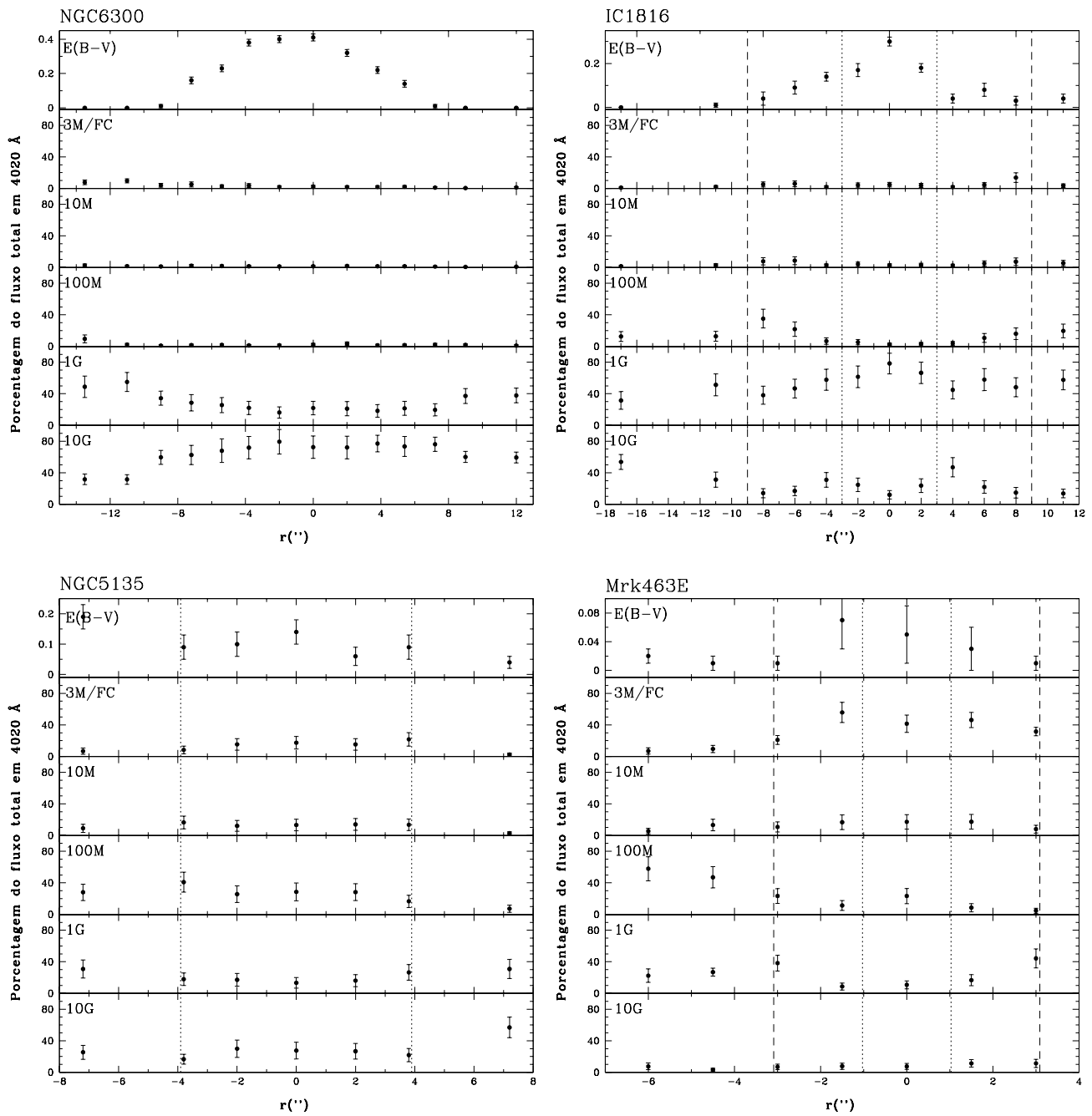


Fig. 5.5: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

encontrada nos objetos observados no KPNO. Um exemplo destes objetos é a galáxia IC1816, apresentada no painel superior direito da Fig. 5.5. Em quatorze objetos a diferença entre a contribuição nuclear e extranuclear desta componente é de pelo menos 10% e em nove a contribuição extranuclear é maior do que a nuclear.

Em cinco galáxias as populações de 100M+10M contribuem com pelo menos 40% do fluxo para a luz nuclear (ESO138-G1, NGC7130, NGC7582, Mrk463E e NGC5135, apresentada no painel inferior esquerdo da Fig. 5.5) e são também significativas (>10% do fluxo) em outras sete. Em apenas seis galáxias a diferença entre a contribuição nuclear e extranuclear alcança 10%, e em quatro destes casos a contribuição extranuclear é menor.

Em poucas galáxias desta amostra (cinco), a componente nuclear de 3M/FC é significativa (>10% do fluxo), em contraste ao resultado encontrado para aquelas observadas no KPNO. Destacam-se Mrk463E (apresentada no painel inferior direito da Fig. 5.5) e NGC7130, onde esta componente contribui com 42 e 26% do fluxo total em 4020Å, respectivamente. Somente nestas duas galáxias a contribuição extranuclear é pelo menos 10% menor do que a nuclear. Nos demais objetos esta variação é sempre menor.

Na Fig. 5.6 são mostrados espectros observados (linhas grossas) e sintéticos (linhas finas) do núcleo e de fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares. MCG-05-27-013 é dominada pela população de 10G; Mrk607 tem importante contribuição da população de 1G e NGC5135 é dominada pelas populações de 100M e mais jovens.

Com relação ao avermelhamento interno, apenas uma das galáxias Seyfert 2 observadas no CTIO não apresenta um valor de $E(B-V)$ de pelo menos 0,05 no núcleo ou fora (ESO138-G1). No núcleo, varia de 0 a 0,5 e fora do núcleo de 0 a 0,4. Em apenas seis objetos a poeira parece estar distribuída de forma irregular. Em quinze objetos o avermelhamento diminui para fora do núcleo e em apenas um aumenta nesta direção.

A partir dos resultados da síntese para esse conjunto de galáxias, as principais características da população estelar são sumarizadas abaixo:

- No núcleo, 40% da amostra (9 galáxias) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20%. Além disso, 22% da amostra (5 galáxias) têm uma componente 3M/FC significativa (>10%) no núcleo.
- A 1 kpc do núcleo, 35% dos objetos estudados até esta distância (7 de 20) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20% e 15% têm uma componente 3M/FC significativa.
- A 3 kpc do núcleo, 50% dos objetos estudados até esta distância (5 de 10) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20% e 10% têm uma componente 3M/FC significativa.
- A componente de 1G aumenta significativamente para fora do núcleo em 9 galáxias da amostra.

Os percentuais apresentados nos três primeiros itens são mais baixos do que os encontrados para as galáxias Seyfert 2 do conjunto anterior, o que demonstra que as galáxias

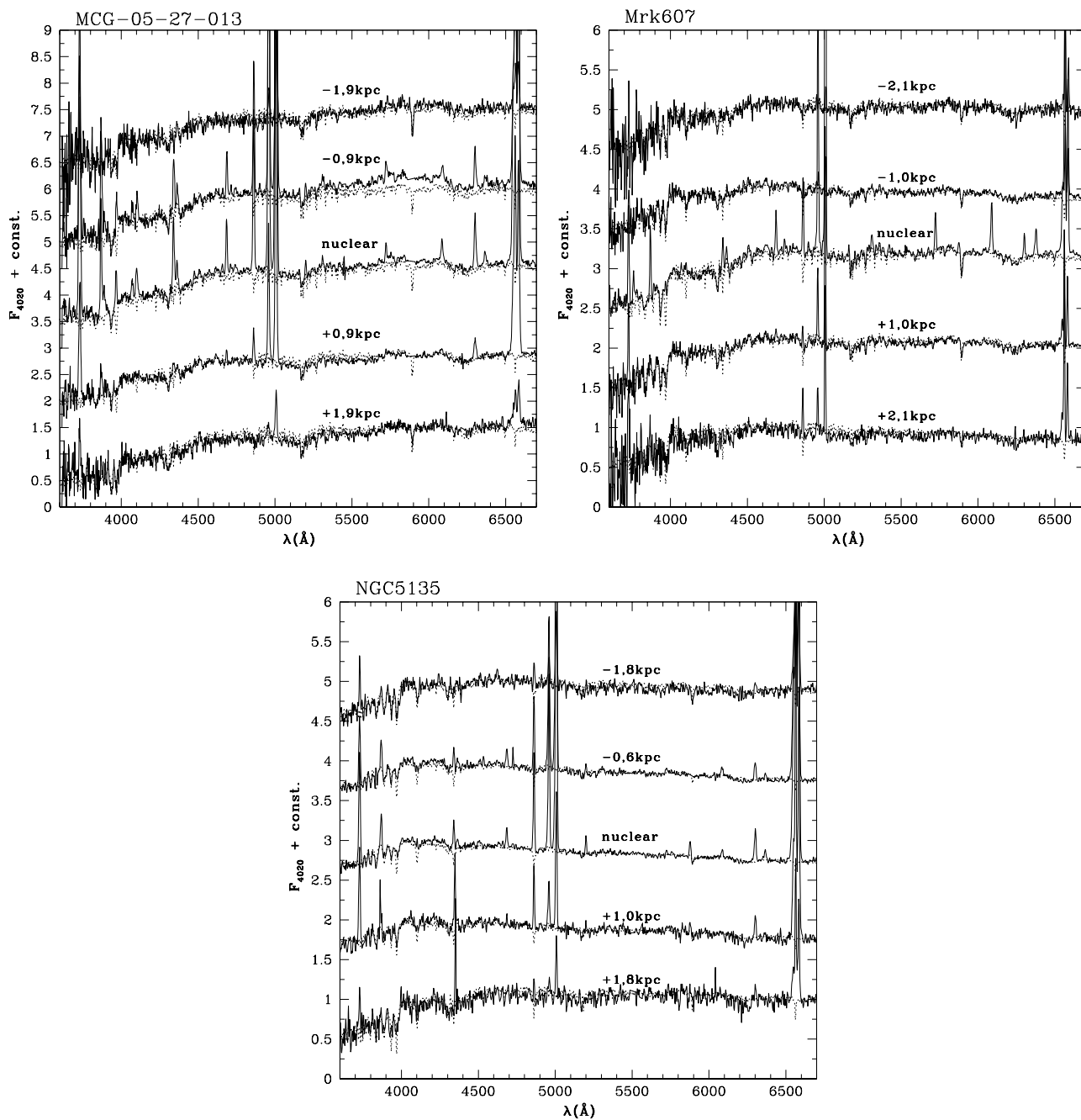


Fig. 5.6: *Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para galáxias com diferentes populações estelares: MCG-05-27-013, dominada pela população de 10G; Mrk607 tem importante contribuição da população de 1G e NGC5135 é dominada pelas populações de 100M e mais jovens.*

observadas no KPNO apresentam populações mais jovens do que as populações das galáxias observadas no CTIO. Este resultado pode ser devido a um efeito de seleção, visto que as galáxias observadas no KPNO foram selecionadas para o estudo da conexão entre formação estelar e atividade nuclear enquanto que aquelas observadas no CTIO foram selecionadas inicialmente para estudo de suas características de emissão.

Resultados com a síntese restrita

Com o objetivo de poder avaliar as diferenças de se realizar sínteses espectrais de populações estelares com diferentes abrangências espectrais, e além disso, poder comparar diretamente os resultados para as duas amostras de Seyfert 2 observadas (KPNO e CTIO), foi refeita a síntese para os objetos observados no CTIO, utilizando as mesmas Ws e Cs empregadas na síntese dos objetos observados no KPNO. Os resultados utilizando essa chamada “síntese restrita” são apresentados na Tab. 5.3.

Comparando os resultados das Tabs. 5.2 e 5.3, pode-se perceber que as diferenças em geral não são significativas ($<10\%$). Das 23 galáxias estudadas, 13 não apresentam diferenças maiores do que 10% nos intervalos de idade mostrados nas tabelas, tanto na região nuclear, quanto a 1 kpc e a 3 kpc do núcleo.

Na região nuclear, quatro galáxias apresentam diferenças de no máximo 20%. Essas diferenças são sempre compensadas entre as populações mais velhas, 10G e 1G. Em nenhum caso as componentes mais jovens (100M ou menos, e FC) apresentam diferenças significativas no núcleo.

Como no caso nuclear, as posições extranucleares que apresentam diferenças maiores do que 10% entre a síntese completa e a restrita, na maioria dos casos mostram uma compensação entre as componentes 10G e 1G, fazendo com que as mais jovens não apresentem diferenças significativas.

Apenas em dois objetos a diferença nas idades 100M+10M está no limite de significância (11%) em posições extranucleares. Nas demais não é significativa. A componente 3M/FC não apresenta diferenças significativas em nenhum dos objetos, seja no núcleo, ou fora dele.

Devido à pequena diferença nos resultados, as principais considerações com relação às populações estelares apresentadas na seção anterior permanecem válidas. Além disso, como a distribuição das populações mais jovens praticamente não é afetada pelo fato de se realizar a síntese com diferentes abrangências espectrais, e como estas populações constituem o foco principal deste estudo, as duas amostras de galáxias Seyfert 2 podem ser analisadas em conjunto, sem perda de validade das conclusões.

A partir das Tabs. 5.1 e 5.2, pode-se dizer o seguinte sobre a população estelar das 37 galáxias Seyfert 2 estudadas neste trabalho:

- No núcleo, 57% da amostra (21 galáxias) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20%. Além disso, 35% da amostra (13 galáxias) têm uma componente 3M/FC significativa ($>10\%$) no núcleo.
- A 1 kpc do núcleo, 53% da amostra (18 galáxias de um total de 34 com extensão estudada de pelo menos 1 kpc) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20% e 29% da amostra têm uma componente 3M/FC significativa.

Tab. 5.3: Síntese restrita para as Seyfert 2 observadas no CTIO: resultados

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc	Nuclear	1 kpc	3 kpc
<i>S0-S0/a</i>												
Mrk348	52	34	–	26	52	–	12	11	–	10	3	–
Mrk573	55	61	34	27	20	31	13	11	22	6	8	13
NGC1358	44	54	65	53	41	23	2	4	11	1	1	1
NGC1386	31	48	–	60	47	–	7	4	–	2	1	–
NGC3081	45	49	–	35	33	–	14	15	–	6	3	–
NGC7743	23	45	–	45	43	–	30	9	–	2	3	–
ESO138-G1	22	63	–	35	30	–	39	6	–	4	1	–
ESO362-G8	15	30	27	41	44	54	42	24	17	2	2	2
ESO417-G6	43	45	40	47	46	49	7	6	6	3	3	5
CGCG420-015	60	43	54	27	48	34	11	7	11	3	2	1
Fairall316	56	51	–	40	45	–	3	3	–	1	1	–
<i>Sa-Sab-Sb</i>												
Mrk607	26	28	52	66	46	23	6	24	23	3	2	2
NGC5135	24	32	–	12	22	–	47	31	–	17	15	–
NGC6300	73	–	–	22	–	–	3	–	–	2	–	–
NGC6890	73	–	–	18	–	–	4	–	–	5	–	–
NGC7130	14	40	34	11	22	23	51	31	36	25	7	7
NGC7582	16	–	–	10	–	–	62	–	–	12	–	–
IC1816	11	34	22	78	56	46	6	7	26	5	3	6
MCG-05-27-013	53	45	59	37	48	32	8	6	9	3	1	0
<i>Sc</i>												
NGC5643	37	55	–	40	19	–	19	15	–	4	11	–
<i>S</i>												
Mrk463E	7	9	14	10	10	38	44	37	24	39	44	24
Mrk1210	30	19	–	33	52	–	23	23	–	14	6	–
IRAS11215-2806	56	38	–	31	58	–	11	3	–	2	1	–

- A 3 kpc do núcleo, 60% da amostra (12 galáxias de um total de 20 com extensão estudada de pelo menos 3 kpc) têm a contribuição das populações com 100M ou mais jovens superior a 20%. Por fim, 25% da amostra têm uma componente 3M/FC significativa a 3 kpc do núcleo.

5.2 Rádio-galáxias

A população nuclear e extranuclear das rádio-galáxias é dominada pelas componentes velha (10G) e de idade intermediária (1G), na maioria dos casos. Em apenas quatro rádio-galáxias da amostra (de vinte e quatro) as outras componentes contribuem com pelo menos 10% do fluxo total em 4020Å, no núcleo ou fora dele. Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se nas Figs. 5.7 e A.10-A.14. Na Tab. 5.4 eles são sumarizados.

Na Fig. 5.8 são mostrados espectros observados (linhas grossas) e sintéticos (linhas finas) do núcleo e de fora do núcleo, para rádio-galáxias com diferentes populações estelares. AM2158-380 é dominada pela população de 10G e ESO075-G41 tem importante contribuição da população 3M/FC no núcleo.

Em nada menos do que dezessete rádio-galáxias da amostra, a componente de 10G contribui com pelo menos 50% do fluxo total, na região nuclear. Em apenas um objeto (B0456-301) esta componente contribui com menos de 20% do fluxo. A variação da contribuição desta componente ao longo das galáxias é pequena. Em somente cinco objetos a diferença entre a contribuição nuclear e a extranuclear atinge pelo menos 10%, sendo que em três casos diminui para fora do núcleo. Os dois casos em que esta componente aumenta para fora do núcleo ocorrem nas BLRG, rádio-galáxias com linhas largas e que têm uma contribuição nuclear muito forte da luz do AGN.

A componente de 1G também é bastante significativa nas rádio-galáxias. Apesar de ser dominante em apenas um caso (B0456-301), esta componente contribui com pelo menos 30% do fluxo total em dezessete objetos da amostra. Apresenta diferenças maiores do que 10% entre as contribuições nucleares e extranucleares para apenas quatro objetos, sempre aumentando para fora do núcleo.

Como já dito anteriormente, apenas quatro rádio-galáxias da amostra têm as componentes de 100M+10M e/ou 3M/FC com contribuições maiores do que 10% do fluxo. São elas B0456-301, NGC612, ESO075-G41 e Pictor A. A primeira delas apresenta, dentro da região estudada (≈ 4 kpc ao redor do núcleo), uma contribuição de 25-30% da componente de 100M+10M, resultado este que indica a presença de formação estelar recente. A segunda (NGC612) apresenta formação estelar recente apenas na região extranuclear (a 3 kpc do núcleo). Pode-se ver na Fig. 5.7 (painel inferior direito) que a componente de 100M+10M contribui com cerca de 35% do fluxo em 4020Å, a 3 kpc do núcleo e em apenas uma das direções da galáxia. Este resultado não chega a ser estranho, devido ao fato de que essa galáxia tem morfologia peculiar (SA0 pec).

As outras duas apresentam, em uma região espacial de tamanho similar, contribuições da componente de 3M/FC muito forte e, um pouco mais fraca mas ainda significativa, da componente de 100M+10M. A contribuição forte da componente de 3M/FC na região nuclear já era esperada, devido ao fato de que são BLRGs e que, portanto, a luz vinda diretamente do AGN tem uma contribuição bastante importante nestes objetos. A contribuição da com-

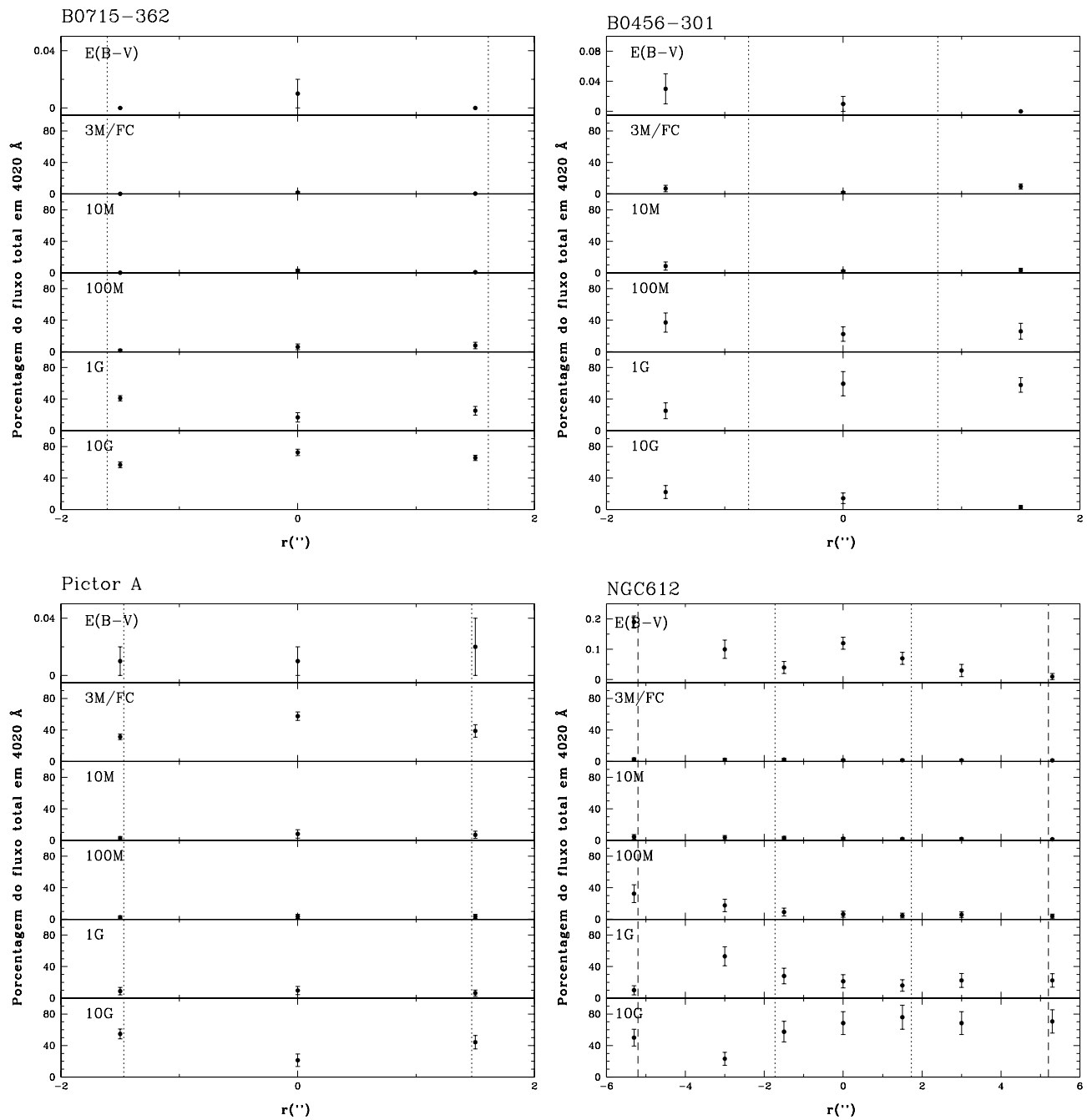


Fig. 5.7: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

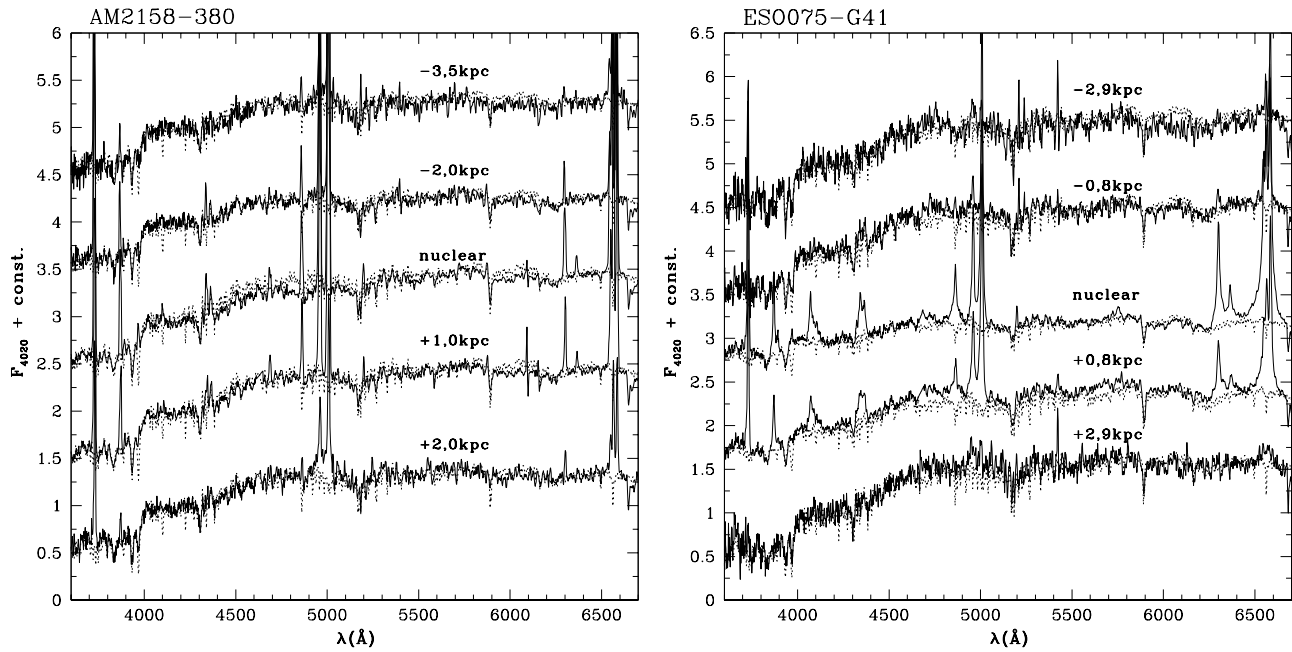


Fig. 5.8: Espectros observados (linhas cheias) e sintéticos (linhas tracejadas) no núcleo e fora do núcleo, para rádio-galáxias com diferentes populações estelares: AM2158-380, dominada pela população de 10G e ESO075-G41, com importante contribuição da população 3M/FC no núcleo.

ponente de 100M+10M parece indicar a presença de formação circumnuclear recente nestes objetos.

O fato de se encontrar uma forte contribuição da componente de 3M/FC também fora do núcleo das BLRG merece uma reflexão. Esta contribuição se deve ao fato de que uma parte da luz nuclear contamina os espectros extranucleares mais próximos. Nas rádio-galáxias estes espectros correspondem àquelas a 1kpc do núcleo. Esta contaminação pode ser estimada fazendo extrações de espectros das estrelas de calibração com as mesmas dimensões utilizadas para as extrações das rádio-galáxias. Como as estrelas são objetos pontuais (assim como o núcleo do AGN), todo o fluxo da estrela deveria estar contido no espectro central. Isto não acontece devido às condições atmosféricas, que degradam a imagem. Fazendo essa experiência, chega-se a conclusão que cerca de 70% do fluxo total está contido no espectro central e os dois espectros extranucleares mais próximos do centro contém os 30% restantes do fluxo da estrela. Assumindo que o mesmo ocorra para as rádio-galáxias, cujo núcleo também deveria ser pontual, percebe-se que a contribuição da componente relativa ao AGN (3M/FC) a 1kpc do núcleo deve-se exclusivamente a contaminação da luz que vem da região nuclear. Esta contribuição não se deve a uma componente FC estendida, como poderia ser imaginado num primeiro momento.

O avermelhamento interno em geral é baixo para a amostra de rádio-galáxias estudada. Dezenove rádio-galáxias apresentam $E(B-V) \approx 0$, tanto no núcleo, quanto na região extranuclear. Cinco rádio-galáxias apresentam avermelhamento interno, que varia de 0 a 0,4 no núcleo e de 0 a 0,3 fora do núcleo. Em uma única destas galáxias $E(B-V) > 0,20$ (ESO248-G-10, com 0,43 no núcleo e diminuindo para fora). Nas demais o nível de avermelhamento interno é menor e não existe um gradiente sistemático.

A partir dos resultados da síntese para as rádio-galáxias, pode-se destacar quanto às características da população estelar:

- Das vinte e quatro rádio-galáxias estudadas, apenas quatro têm contribuições significativas (maiores do que 10%) das populações de 100M+10M e/ou 3M/FC ao longo dos 6 kpc centrais.
- Nenhuma rádio-galáxia de tipo FRI estudada tem contribuição significativa das populações de 100M+10M e/ou 3M/FC ao longo dos 6 kpc centrais.
- Duas (de oito) rádio-galáxias de tipo FRII estudadas têm contribuições significativas da população de 3M/FC ao longo dos 4 kpc centrais. Como se vê claramente a presença de linhas largas no espectro de emissão destes objetos, provavelmente uma grande parte desta contribuição deve-se à luz que vem do AGN.
- Uma rádio-galáxia de tipo FRx (ou seja, indefinido) tem contribuição significativa da população de 100M+10M ao longo dos 4 kpc centrais, indicando claramente a presença de formação estelar recente.
- Uma rádio-galáxia de tipo FRII tem contribuição significativa da população de 100M+10M a 3 kpc do núcleo (em apenas uma direção), indicando claramente a presença de formação estelar recente. Esta galáxia tem morfologia peculiar (SA0pec).
- Em geral, a contribuição das populações não apresenta gradientes radiais significativos na região estudada (cerca de 6 kpc centrais).

5.3 Galáxias não ativas

5.3.1 Galáxias elípticas

A população nuclear e extranuclear das galáxias elípticas não ativas é geralmente dominada pelas componentes velha e intermediária. Em apenas três destas galáxias outras componentes contribuem com pelo menos 10% do fluxo total em 4020Å, no núcleo ou fora dele.

Um inconveniente com relação às observações disponíveis para estes objetos é que em geral a região espacial amostrada tem raio de cerca de 3kpc ao redor do núcleo, pelo menos duas vezes menor do que as regiões disponíveis para as rádio-galáxias, objetos com os quais se quer comparar as populações. Essa limitação será levada em conta e discutida no momento apropriado.

Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se nas Figs. 5.9 e A.15-A.17. Além disso, são sumarizados na Tab. 5.5.

Todos os objetos dessa amostra são dominados pela população velha nos 3 kpc centrais. A contribuição desta componente varia de 56% (NGC2865) a 83% (NGC5813) do fluxo total em 4020Å. Apenas na galáxia NGC2865 contribui com menos do que 65% do fluxo. A contribuição da componente de 1G é significativa (maior do que 10% do fluxo) em dez (dos onze) objetos desta amostra, mas nunca é superior a 25%.

Tab. 5.4: Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020\AA para as rádio-galáxias. No primeiro grupo estão as *FRI*, no segundo as *FR II* e no terceiro as de tipo intermediário, compacto ou incerto.

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc
<i>FRI</i>												
ESO350-G15	56	57	55	41	41	39	3	2	5	0	0	1
ESO198-G1	53	54	51	44	43	46	3	3	2	0	0	1
B0332-391	64	61	56	30	33	34	5	5	9	1	1	1
IC2082	60	54	65	38	44	33	2	2	2	0	0	0
B0429-616	50	50	53	42	43	39	7	6	7	1	1	1
B0620-526	47	46	45	46	48	54	6	5	1	1	1	0
ESO161-IG7	59	58	53	38	38	43	3	3	4	0	1	0
B0715-362	72	61	–	17	33	–	9	5	–	2	1	–
ESO377-G46	62	59	–	35	40	–	2	1	–	1	0	–
B2013-557	49	46	33	42	46	61	7	6	4	2	1	2
B2148-555	62	64	61	35	33	33	3	3	4	0	0	2
ESO349-G10	61	62	59	35	33	36	3	4	4	1	1	1
<i>FR II</i>												
NGC612	68	67	60	21	22	16	9	9	21	2	2	2
ESO248-G10	52	47	47	44	49	47	3	3	5	1	1	1
Pictor A	21	49	–	10	8	–	12	8	–	57	35	–
ESO365-IG6	69	68	–	28	29	–	3	3	–	0	0	–
B1413-364	63	52	–	33	43	–	3	4	–	1	1	–
B1637-771	46	50	48	46	43	44	7	6	7	1	1	1
ESO075-G41	39	46	80	10	23	11	24	15	7	27	16	2
AM2158-380	69	74	70	25	19	22	4	5	6	2	2	2
<i>FR?</i>												
B0344-345	63	61	54	29	32	44	6	6	1	2	1	1
B0456-301	14	13	–	60	51	–	24	31	–	2	5	–
ESO271-G20	61	54	56	36	44	41	2	2	2	1	0	0
ESO338-IG11	49	50	51	48	48	47	2	2	2	1	0	0

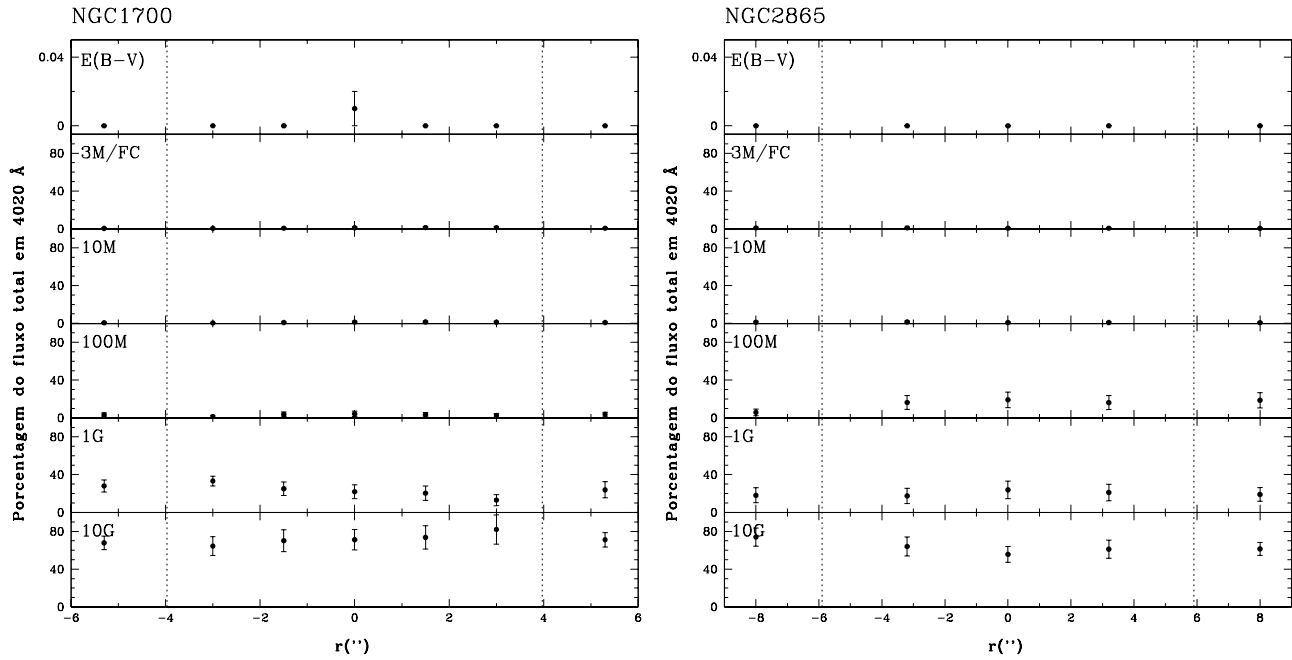


Fig. 5.9: Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig. 5.1.

A componente de 100M+10M contribui com pelo menos 10% do fluxo em três objetos, NGC2865 (desde a região nuclear até 1kpc), NGC5061 (no núcleo) e NGC5328 (a 1 kpc do núcleo). Seu valor não passa de 20% em nenhum dos casos e nas galáxias NGC5061 e NGC5328 está muito próximo do limiar de significância. Em nenhum destes objetos a componente de 3M/FC contribui de forma significativa.

Ao longo dos 3 kpc centrais a população estelar não apresenta variações significativas em nenhum dos objetos estudados.

As galáxias elípticas não ativas estudadas apresentam níveis baixos de avermelhamento interno, com $E(B-V) \approx 0$ para todos os objetos, no núcleo e fora do núcleo.

5.3.2 Galáxias lenticulares

Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se nas Figs. A.18-A.19. Além disso, são sumarizados na Tab. 5.6.

A população velha domina a contribuição para o fluxo em 4020Å em seis das sete galáxias lenticulares estudadas. Em nenhum objeto desta amostra as populações de 100M ou mais jovens (incluindo a componente FC) têm uma contribuição significativa, tanto no núcleo quanto fora deste.

No núcleo, a contribuição da componente de 10G contribui com pelo menos 65% do fluxo e a componente de 1G contribui com no máximo 35% do fluxo em seis objetos da amostra. Fora do núcleo, estes valores passam a ser 50% e 45%, respectivamente. A exceção é a galáxia NGC7079, na qual as componentes de 10G e 1G contribuem cada uma com a metade do fluxo, no núcleo e fora do núcleo.

Tab. 5.5: *Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias elípticas não ativas.*

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc
NGC1404	75	79	-	22	16	-	3	5	-	0	0	-
NGC1700	71	71	-	22	25	-	6	3	-	1	1	-
NGC2865	56	65	-	24	19	-	20	15	-	0	1	-
NGC3091	76	74	-	15	22	-	8	4	-	1	0	-
NGC3585	73	82	-	20	14	-	6	4	-	1	0	-
NGC3904	81	78	-	15	20	-	3	2	-	1	0	-
NGC3923	69	77	-	25	19	-	6	4	-	0	0	-
NGC4936 ¹	75	88	-	19	10	-	4	2	-	2	0	-
NGC4936 ²	81	80	-	11	16	-	6	3	-	2	1	-
NGC5061	70	77	-	18	16	-	12	6	-	0	1	-
NGC5328	66	67	-	24	18	-	9	14	-	1	1	-
NGC5813	83	-	-	8	-	-	7	-	-	2	-	-

¹ Observada no Telescópio de 1,5m do ESO

² Observada no Telescópio NTT do ESO

Tab. 5.6: *Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias lenticulares não ativas.*

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc
NGC3706	78	76	-	12	19	-	8	4	-	2	1	-
NGC4373	66	68	-	30	26	-	4	5	-	0	1	-
NGC4825	80	81	79	12	12	11	7	6	6	1	1	3
NGC6684	66	54	-	32	43	-	2	3	-	0	0	-
NGC6861	67	53	37	27	44	53	6	3	10	0	0	0
NGC7049	73	56	34	21	42	62	6	2	3	0	0	1
NGC7079	50	45	-	48	52	-	2	3	-	0	0	-

Em três destas galáxias, a diferença entre as contribuições das componentes de 10G e 1G no núcleo e fora do núcleo é maior do que 10% (NGC6684, NGC6861, NGC7049), com a componente de 10G diminuindo sua contribuição e a de 1G aumentando do núcleo para fora. As outras quatro não apresentam variações significativas em nenhuma componente.

Assim como nas galáxias elípticas não ativas estudadas, as galáxias lenticulares apresentam níveis de avermelhamento interno nulo para todos os objetos, no núcleo e fora do núcleo.

5.3.3 Galáxias espirais

Os resultados da síntese para este conjunto de objetos encontram-se nas Figs. A.20-A.25. Além disso, são sumarizados na Tab. 5.7.

De um total de 18 galáxias espirais estudadas, em apenas 8 as componentes de 100M ou mais jovens (incluindo a componente FC) têm contribuição significativa (maior do que 10% do fluxo em 4020Å) no núcleo ou fora deste.

No núcleo, a componente de 10G contribui desde 13% (NGC6907) até 61% (NGC6923) do fluxo, sendo que em 10 galáxias esta componente tem contribuição maior do que 50%. A

Tab. 5.7: *Contribuição de quatro intervalos de idade para o fluxo total em 4020Å para as galáxias espirais não ativas.*

Nome	10G			1G			100M+10M			3M/FC		
	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc	Nuc.	1 kpc	3 kpc
Sa-Sb												
NGC779	58	37	–	38	35	–	3	25	–	1	3	–
NGC1302	49	–	–	47	–	–	3	–	–	1	–	–
NGC1367	55	(43)	–	38	(52)	–	5	(3)	–	2	(2)	–
NGC1425 ¹	59	(40)	–	36	(59)	–	3	(1)	–	2	(0)	–
NGC1425 ²	56	20	–	41	74	–	2	2	–	1	4	–
NGC3358	54	(65)	–	37	(28)	–	6	(4)	–	3	(3)	–
NGC6923	61	53	–	35	30	–	4	16	–	0	1	–
IC5267	55	70	–	43	18	–	2	11	–	0	1	–
Sbc-Sc												
NGC289	45	28	–	52	62	–	2	8	–	1	2	–
NGC908	38	–	–	44	–	–	14	–	–	4	–	–
NGC1232	47	(39)	–	47	(61)	–	4	(0)	–	2	(0)	–
NGC1637	38	–	–	34	–	–	21	–	–	7	–	–
NGC3054	55	47	–	38	51	–	5	1	–	2	1	–
NGC3223	57	63	–	35	36	–	6	1	–	2	0	–
NGC6907	13	24	28	21	38	40	48	32	31	17	6	1
NGC6925	51	41	–	44	53	–	4	5	–	1	1	–
NGC7184	58	43	44	39	51	48	3	4	8	0	2	0
NGC7309	25	25	26	27	50	51	44	22	21	4	3	2
IC5325	22	25	16	36	33	40	35	35	33	7	7	11

¹ Observada no Telescópio de 1,5m do CTIO² Observada no Telescópio de 1,5m do ESO

componente de 1G contribui desde 21% (NGC6907) a 52% (NGC289) do fluxo, sendo que em 16 galáxias tem contribuição maior do que 30%. Em apenas 5 objetos, as componentes 100M+10M contribuem de forma significativa no núcleo (de 14 a 48%), todos estes de tipo de Hubble Sbc e Sc. Em três destes (NGC6907, NGC7309 e IC5325) esta componente contribui com pelo menos 35% do fluxo. Por fim, a componente 3M/FC contribui de forma significativa em apenas uma galáxia espiral estudada (NGC6907), de tipo de Hubble Sbc.

Das 15 galáxias com informação a 1 kpc do núcleo, em 8 destas a diferença da contribuição da componente de 10G em relação ao núcleo é maior do que 10%, sendo que em 3 galáxias esta componente aumenta e em 5 diminui para fora do núcleo. A componente de 1G mostra mudanças significativas em 8 objetos, sendo que em 7 a contribuição aumenta para fora do núcleo e em apenas uma ela diminui.

As três galáxias espirais com informação a 1 kpc do núcleo e contribuição significativa das componentes de 100M ou mais jovens mantêm esta contribuição significativa fora do núcleo, inclusive a 3 kpc deste. Já a única galáxia com componente 3M/FC significativa no núcleo não apresenta o mesmo patamar de contribuição fora do núcleo.

A amostra de galáxias espirais não ativas apresenta níveis mais altos de avermelhamento interno do que aqueles encontrados nas outras galáxias não ativas. Tanto no núcleo quanto fora, $E(B-V)$ varia de 0 a 0,4, sendo que em somente um objeto é maior do que 0,25 (NGC1637, uma galáxia Sc). Em um objeto o avermelhamento interno é nulo. Das dezessete galáxias em que o avermelhamento é significativo, em seis o avermelhamento interno diminui do núcleo para fora, em duas aumenta e nas nove restantes não existe um gradiente sistemático.

Capítulo 6

Sistematização dos resultados e discussão

Neste capítulo é feita uma sistematização dos resultados obtidos ao longo deste estudo, no qual foram analisadas a população nuclear e extranuclear de galáxias ativas e não ativas. Os resultados são interpretados e discutidos, no que diz respeito à conexão entre atividade nuclear e formação estelar, é feita uma comparação com trabalhos anteriores e são apresentados os avanços obtidos em relação a estes.

Com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados e poder extrair de uma forma simples a essência dos mesmos, são apresentadas nas Tabs. 6.1 e 6.2 as contribuições médias das populações nucleares em quatro intervalos de idade, 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC (onde se inclui a contribuição de um contínuo tipo lei de potência, devido a presença do AGN – componente FC), para os diferentes tipos/amostras de objetos. Em parênteses encontram-se os respectivos desvios padrões, uma medida do grau de dispersão dos valores ao redor da média.

Também são apresentados histogramas que caracterizam as contribuições em fluxo das populações estelares dos objetos estudados (Figs. 6.1 a 6.7). Nos histogramas estão os números absolutos de galáxias em função da contribuição percentual para o fluxo total em 4020Å de populações de diferentes idades. Cada figura é dividida em quatro painéis, onde são apresentadas as populações 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC.

6.1 Rádio-galáxias versus galáxias elípticas e lenticulares não ativas

População estelar das rádio-galáxias

Nos histogramas da Fig. 6.1 são apresentados os resultados da síntese para as rádio-galáxias, com a população nuclear, a 1kpc e a 3kpc do núcleo. A maior parte dos objetos estudados apresenta uma contribuição de cerca de 60% da população mais velha (10G) e os restantes 40% correspondem à contribuição da população intermediária (1G).

As componentes mais jovens (100M+10M ou 3M/FC) apresentam contribuição significativa ($> 10\%$ do fluxo em 4020Å) em um número reduzido de rádio-galáxias (quatro objetos). Nas duas rádio-galáxias onde a contribuição da componente 3M/FC é significativa (Pictor A e ESO075-G41), uma parte (ou toda) desta contribuição deve-se provavelmente a radiação

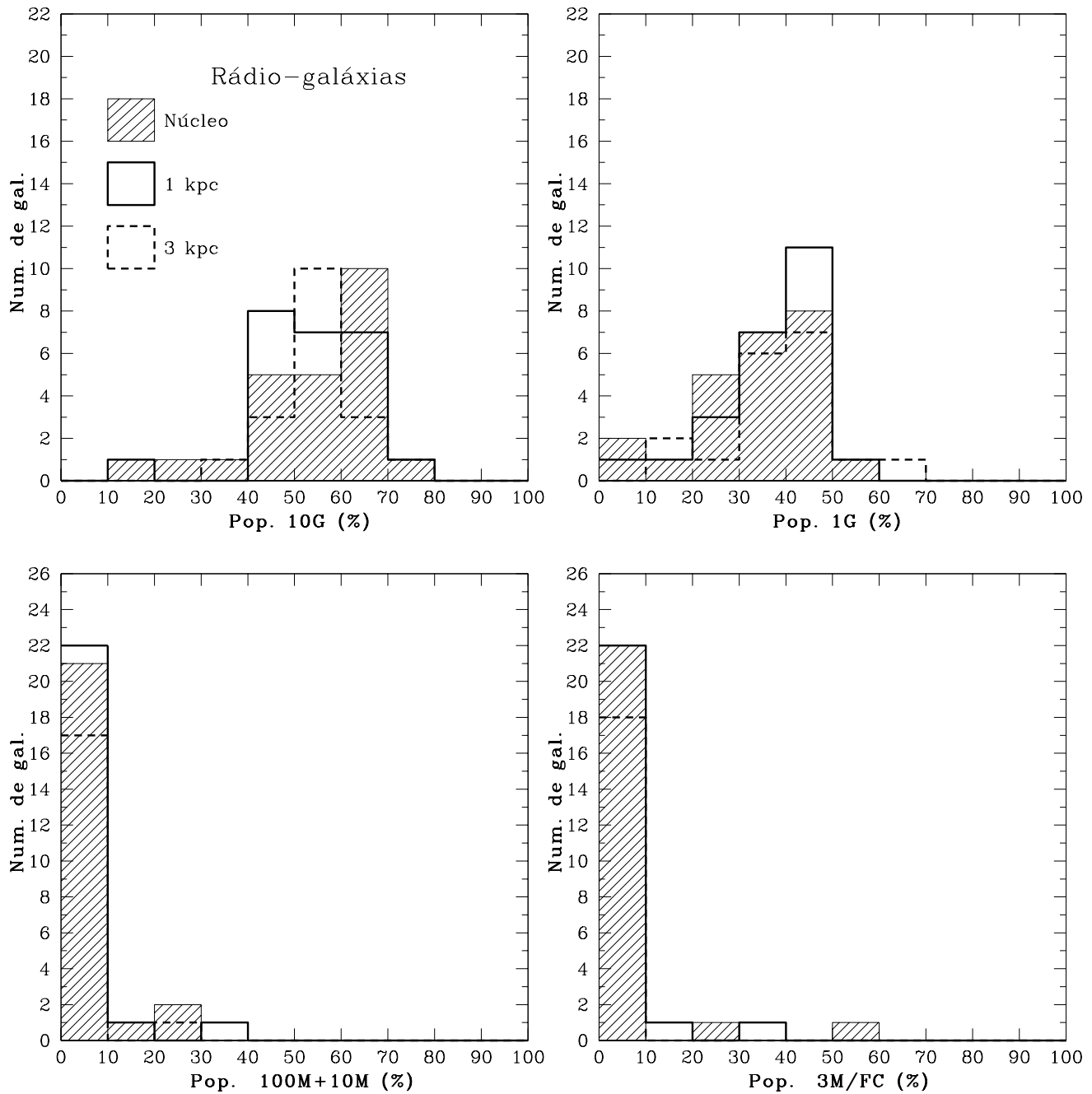


Fig. 6.1: Rádio-galáxias – população nuclear, 1kpc e 3kpc do núcleo: Número de galáxias em função da contribuição para o fluxo total em 4020\AA de populações de diferentes idades. No painel superior esquerdo, a idade da população é de 10^{10} anos (10G), no painel superior direito, 10^9 anos (1G), no painel inferior esquerdo, $10^8 + 10^7$ anos (100M+10M) e no painel inferior direito, $3 \cdot 10^6$ anos mais a contribuição de FC (3M/FC).

Tab. 6.1: Rádio-galáxias e galáxias elípticas e lenticulares não ativas: contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020\AA das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC.

Objetos	10G	1G	100M+10M	3M/FC
Rádio-galáxias	54,5 (13,9)	34,7 (11,8)	6,3 (5,9)	4,4 (12,2)
Elípticas e lenticulares não ativas	71,4 (8,3)	21,3 (8,9)	7,0 (4,1)	0,7 (0,8)
Rádio-galáxias FRI	57,9 (6,9)	36,9 (7,4)	4,4 (2,2)	0,8 (0,7)
Rádio-galáxias FRII/?	51,2 (17,7)	32,5 (14,6)	8,3 (7,6)	8,1 (16,4)

que vem diretamente do AGN, visto que linhas de emissão permitidas largas de grande intensidade são observadas nos espectros. A componente 100M+10M, devido a episódios de formação estelar recente, é significativa no núcleo de duas rádio-galáxias (B0456-301 e ESO075-G41) e a 3kpc do núcleo na NGC612, uma galáxia lenticular com morfologia ótica peculiar.

Rádio-galáxias FRI versus FRII

Na Fig. 6.2 são apresentados os resultados da população nuclear para rádio-galáxias de dois diferentes grupos. No primeiro – chamado FRI – estão as rádio-galáxias Fanaroff-Riley tipo I, que apresentam a região central brilhante e os lobos escurecidos. Em geral são menos luminosas. No segundo grupo – FRII/? – estão as rádio-galáxias FRII, que apresentam os lobos bastante brilhantes e, em geral, são mais luminosas. Neste grupo estão também aquelas de tipo morfológico rádio indefinido. Doze rádio-galáxias compõem cada um destes grupos.

As populações velha e intermediária das rádio-galáxias FRI e FRII/? não apresentam diferenças significativas. Com relação às populações mais jovens, nenhuma rádio-galáxia FRI apresenta contribuição significativa ($>10\%$) destas componentes, enquanto que três rádio-galáxias FRII/? superam esse nível de contribuição no núcleo e uma quarta fora do núcleo.

Analisando individualmente as duas rádio-galáxias com linhas largas, em pelo menos uma (Pictor A) uma grande parte (ou mesmo toda) da contribuição do fluxo dito “das componentes jovens” vem da energia irradiada pelo AGN. Apenas uma parcela, que não pode ser estimada através da síntese, seria devido a formação estelar recente. Na outra rádio-galáxia com linhas largas, a contribuição da população 100M+10M é bem maior (24% do fluxo em 4020\AA), o que demonstra que nesta ocorreu um episódio de formação estelar recente na região nuclear.

Assim sendo, ao se comparar a população estelar das rádio-galáxias FRI e FRII/? desta amostra, pode-se afirmar que nas primeiras não existe formação estelar recente significativa enquanto que nas segundas a frequência com que isto acontece é muito pequena ($\approx 10\%$), mas não totalmente ausente.

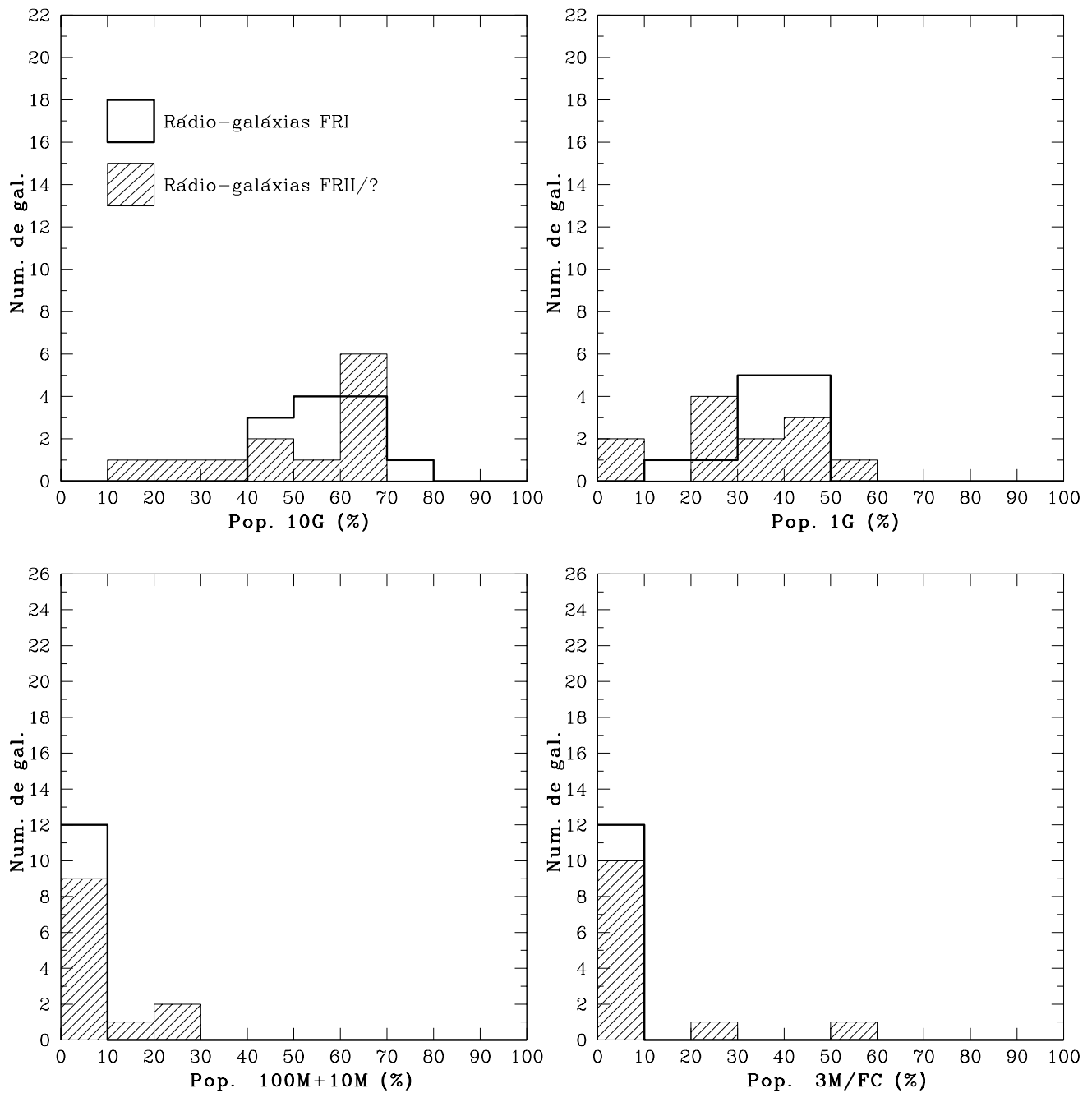


Fig. 6.2: Rádio-galáxias – galáxias FRI versus FRII/? : mesmo formato da Fig. 6.1.

Rádio-galáxias versus galáxias elípticas e lenticulares não ativas

Nas Figs. 6.3 e 6.4 são apresentados os resultados da síntese das rádio-galáxias (vinte e quatro objetos) e das galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble (dezoito objetos), no núcleo e a 1kpc dele. Na primeira parte da Tab. 6.1 estão as contribuições médias de cada população. A principal diferença encontrada entre as populações destes objetos é observada nas componentes velha e intermediária. Nas rádio-galáxias a componente velha apresenta uma contribuição significativamente menor do que nas galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble, enquanto que com a população intermediária acontece o inverso. No núcleo, 61% (11/18) das galáxias não ativas apresentam contribuição da componente 10G maior do que 70% do fluxo em 4020Å, enquanto que para as rádio-galáxias somente 4% (1/24) da amostra apresenta tal nível de contribuição. Na comparação da componente 1G, em 17% (3/18) das galáxias não ativas essa componente atinge 30% do fluxo, enquanto que em 67% (16/24) das rádio-galáxias esse nível de contribuição é alcançado.

Esses resultados sugerem que episódios de formação estelar de idade em torno de 10^9 anos ocorreram em maior proporção em rádio-galáxias do que em galáxias de mesmo tipo de Hubble que não apresentam atividade nuclear rádio. Também mostra que episódios mais recentes, com 10^8 anos ou menos, ocorrem com pequena frequência, não importando a presença ou não de um AGN.

Gradientes de população estelar

A Fig. 6.1 mostra leve tendência de diminuição da contribuição da população 10G para fora do núcleo. Entretanto, dezoito das vinte e quatro rádio-galáxias estudadas ($\approx 75\%$ da amostra) não apresentam gradientes significativos (diferenças de pelo menos 10% na contribuição ao fluxo total em 4020Å) quando se comparam as componentes de quaisquer idades da população nuclear com as da população extranuclear. Aquelas com gradientes significativos têm o seguinte comportamento do núcleo para fora:

- População de 10G: aumenta com a distância ao núcleo em duas rádio-galáxias e diminui em três;
- População de 1G: aumenta em quatro rádio-galáxias;
- População de 100M+10M: aumenta em uma rádio-galáxia e diminui em uma;
- População de 3M/FC: diminui em duas rádio-galáxias.

Essa baixa frequência de gradientes significativos, encontrada nas rádio-galáxias, é muito semelhante ao que se observa em galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble. Das dezessete galáxias elípticas e lenticulares não ativas cujo gradiente pode ser estudado, quatorze ($\approx 80\%$ da amostra) não apresentam gradientes significativos. Em apenas três a diferença entre a contribuição de alguma das componentes da população nuclear e a extranuclear é de pelo menos 10%. Nestas três galáxias a população de 10G diminui para fora do núcleo e a de 1G aumenta nessa direção.

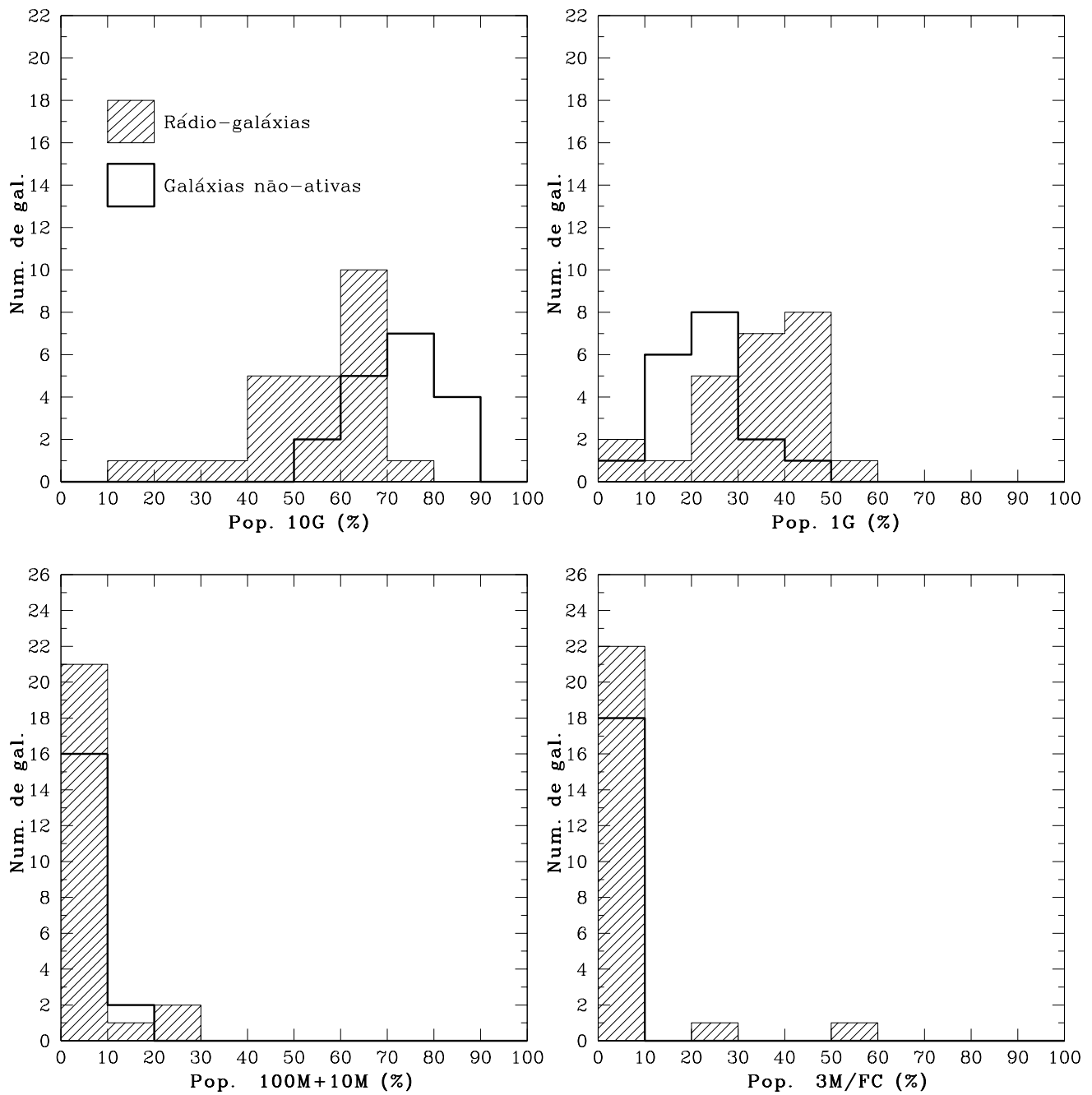


Fig. 6.3: Rádio-galáxias versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – população nuclear: *mesmo formato da Fig. 6.1.*

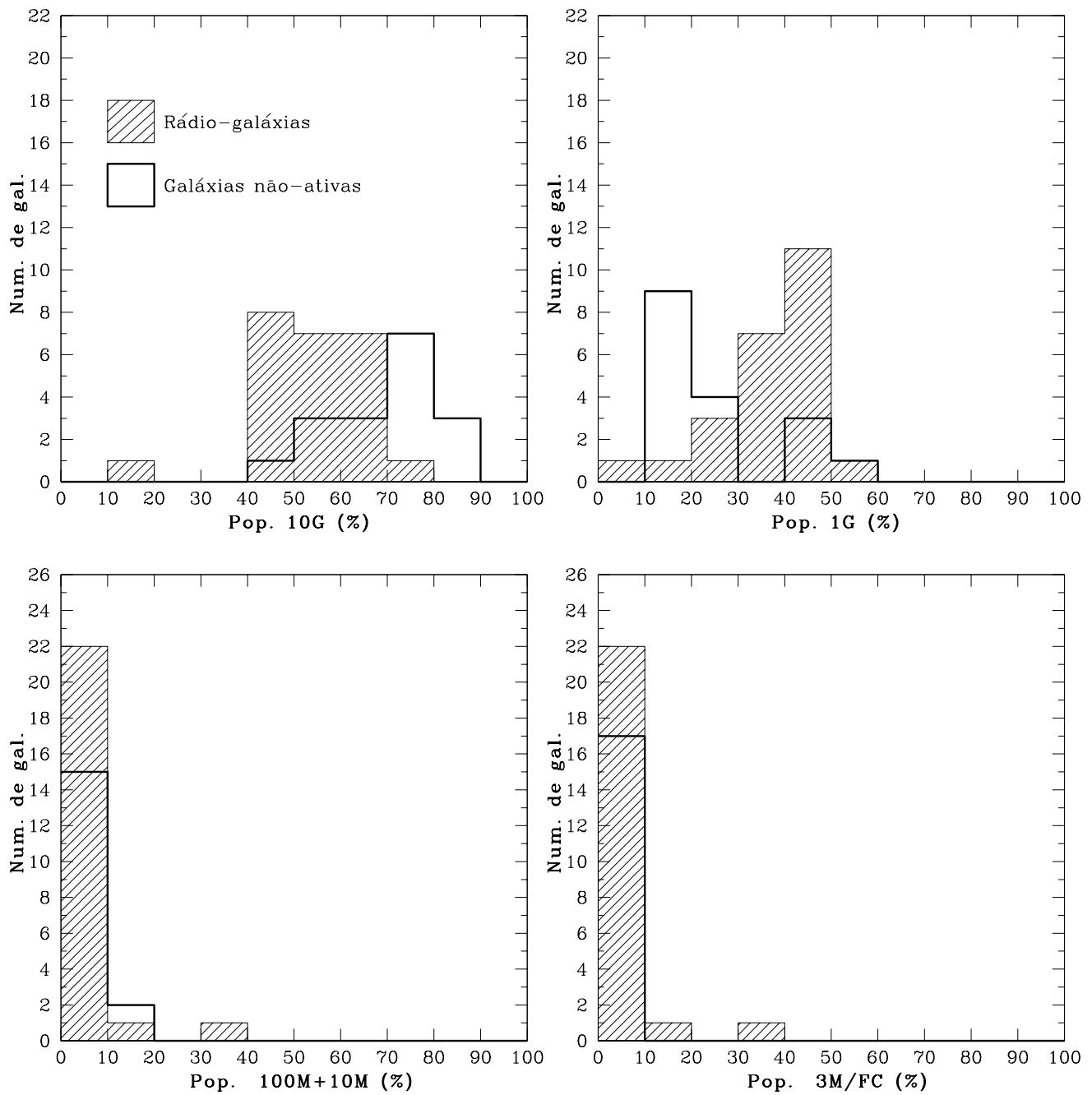


Fig. 6.4: Rádio-galáxias versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – 1kpc do núcleo: *mesmo formato da Fig. 6.1.*

Avermelhamento interno

Com relação ao avermelhamento interno $E(B-V)$ encontrado, devido à poeira do próprio objeto, em geral é baixo para a amostra de rádio-galáxias estudada. Dezenove rádio-galáxias ($\approx 80\%$ da amostra) não apresentam avermelhamento interno, ou seja $E(B-V) \approx 0$, tanto no núcleo, quanto na região extranuclear. Das cinco rádio-galáxias que apresentam avermelhamento interno, quatro são espirais S0 e uma elíptica. Em uma única destas galáxias $E(B-V) > 0,20$ (ESO248-G-10, com 0,43 no núcleo e diminuindo para fora). Nas demais o nível de avermelhamento interno é menor e não existe um gradiente sistemático.

As galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble das rádio-galáxias apresentam níveis igualmente baixos de avermelhamento interno. As dezoito galáxias elípticas e lenticulares não ativas estudadas têm avermelhamento interno próximo de zero.

Através destes resultados conclui-se que rádio-galáxias compartilham os níveis de avermelhamento interno de galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble, ou seja, a morfologia (e não a atividade nuclear) define o avermelhamento interno destas galáxias.

Resolução espacial

O fato de que a região espacial amostrada para as rádio-galáxias ser, em geral, duas vezes maior do que aquela das galáxias não ativas não altera os resultados, visto que o estudo da variação radial das populações estelares demonstrou não existir uma mudança significativa destas populações, desde o núcleo até a máxima região espacial estudada (6kpc nas rádio-galáxias e 3kpc nas galáxias não ativas).

Comparação com outros trabalhos

Três trabalhos relevantes que estudam a conexão entre atividade nuclear e população estelar em rádio-galáxias próximas ($z < 0,2$) são Aretxaga et al. (2001) e Wills et al. (2002,2004). Além destes, Tadhunter et al. (2002) apresenta o estudo de uma amostra de rádio-galáxias de “redshift” intermediário ($0,15 < z < 0,70$).

Aretxaga e colaboradores estudaram a população nuclear de sete rádio-galáxias luminosas (em sua maioria FR II) com $z < 0,08$, sendo que 3 destas apresentam excesso UV. Em uma das que apresentam o excesso UV são vistas linhas de emissão permitidas largas de alta intensidade, o que caracteriza que o principal responsável pelo excesso é a luz que vem diretamente do núcleo ativo. Nas outras duas encontraram, utilizando a descontinuidade de Balmer, a descontinuidade em 4020Å e modelos de síntese evolutiva, que o excesso UV deve-se a população estelar jovem (com idade da ordem de dezenas de milhões de anos). As 4 galáxias que não apresentam excesso UV têm populações típicas de galáxias elípticas.

Wills e colaboradores (2002) também estudaram a população nuclear de uma amostra de rádio-galáxias luminosas próximas ($0,05 < z < 0,2$). Dos nove objetos estudados, encontraram excesso UV em quatro, sendo um destes uma rádio-galáxia com linhas largas. Através de análise da quebra de Balmer e ajuste do contínuo de modelos sintéticos teóricos, chegaram à conclusão de que em três objetos o excesso UV se deve a uma população de idade jovem e/ou intermediária (0,05 a 2 Ganos). As 4 galáxias que não apresentam excesso UV têm populações típicas de galáxias elípticas. O contínuo nebuloso tem uma contribuição que

varia de 0 a 26% do fluxo em 3600Å, e não foi encontrada contribuição significativa de luz espalhada oriunda de um quasar obscurecido.

Seguindo a série de trabalhos, Wills e colaboradores (2004) estudaram a população nuclear de uma amostra de 11 rádio-galáxias próximas de baixa luminosidade ($z < 0,06$), em sua maioria rádio-galáxias FRI. Utilizando a mesma metodologia do trabalho anterior, chegaram à conclusão que três destas galáxias têm um excesso UV devido à presença de uma população jovem e/ou intermediária. Em uma delas é conclusiva a presença de população jovem (de alguns milhões de anos), Hydra A, uma rádio-galáxia FRI muito luminosa, com luminosidade rádio que excede o limite entre FRI e FR II em uma magnitude e que também foi estudada por Aretxaga e colaboradores. Além disso, perceberam que uma componente tipo lei de potência não é necessária para explicar a forma do contínuo em nenhum destes objetos.

Uma conclusão que se obtém destes três trabalhos é a de que a luminosidade da fonte rádio não influencia na fração de galáxias onde a formação estelar de idade jovem e/ou intermediária domina o excesso de luz UV, que é de aproximadamente 30%. Essa fração se mantém mesmo no caso de rádio-galáxias de “redshift” intermediário (Tadhunter et al. 2001). Apesar de que, neste caso, todas rádio-galáxias apresentam excesso UV, em uma fração de 15% dos objetos estudados, o excesso UV é dominado pela luz de estrelas de idades jovem e/ou intermediária e em 50% da amostra essa população é significativa.

No trabalho atual, é estudada a população nuclear e extranuclear de uma amostra 80% completa de rádio-galáxias próximas, sendo metade de tipo FRI e outra metade de tipo FR II ou indefinido. Além disso, é estudada, através da mesma metodologia, uma amostra de controle, constituída de galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble. Observa-se que, a fração de rádio-galáxias com populações realmente jovens (de centenas de milhões de anos ou menos) é muito baixa, aproximadamente 10% da amostra. Essa fração é semelhante ao que foi encontrado nos trabalhos cujos resultados foram descritos acima, visto que uma grande parte da população chamada de “jovem” por seus autores, na realidade é uma população de idade intermediária (alguns bilhões de anos).

Nos trabalhos de Wills e colaboradores (Wills et al. 2002, 2004; Tadhunter et al. 2001) os modelos de ajuste do contínuo apontam para populações “jovens” de alguns bilhões de anos e portanto, a fração de galáxias com contribuição significativa de uma componente 1G poderia variar de 30 a 50% dos objetos estudados. Uma das principais conclusões do trabalho atual é de que, em comparação as galáxias não ativas, as rádio-galáxias apresentam um excesso de contribuição da componente de 1 bilhão de anos. Em 67% das rádio-galáxias estudadas esta componente contribui com pelo menos 30% do fluxo total em 4020Å, contra apenas 17% das galáxias não ativas. Ou seja, episódios de formação estelar de alguns bilhões de anos (ou um pouco menos) são bastante frequentes em rádio-galáxias, resultado que pode ser obtido através do estudo atual e dos trabalhos citados nessa seção.

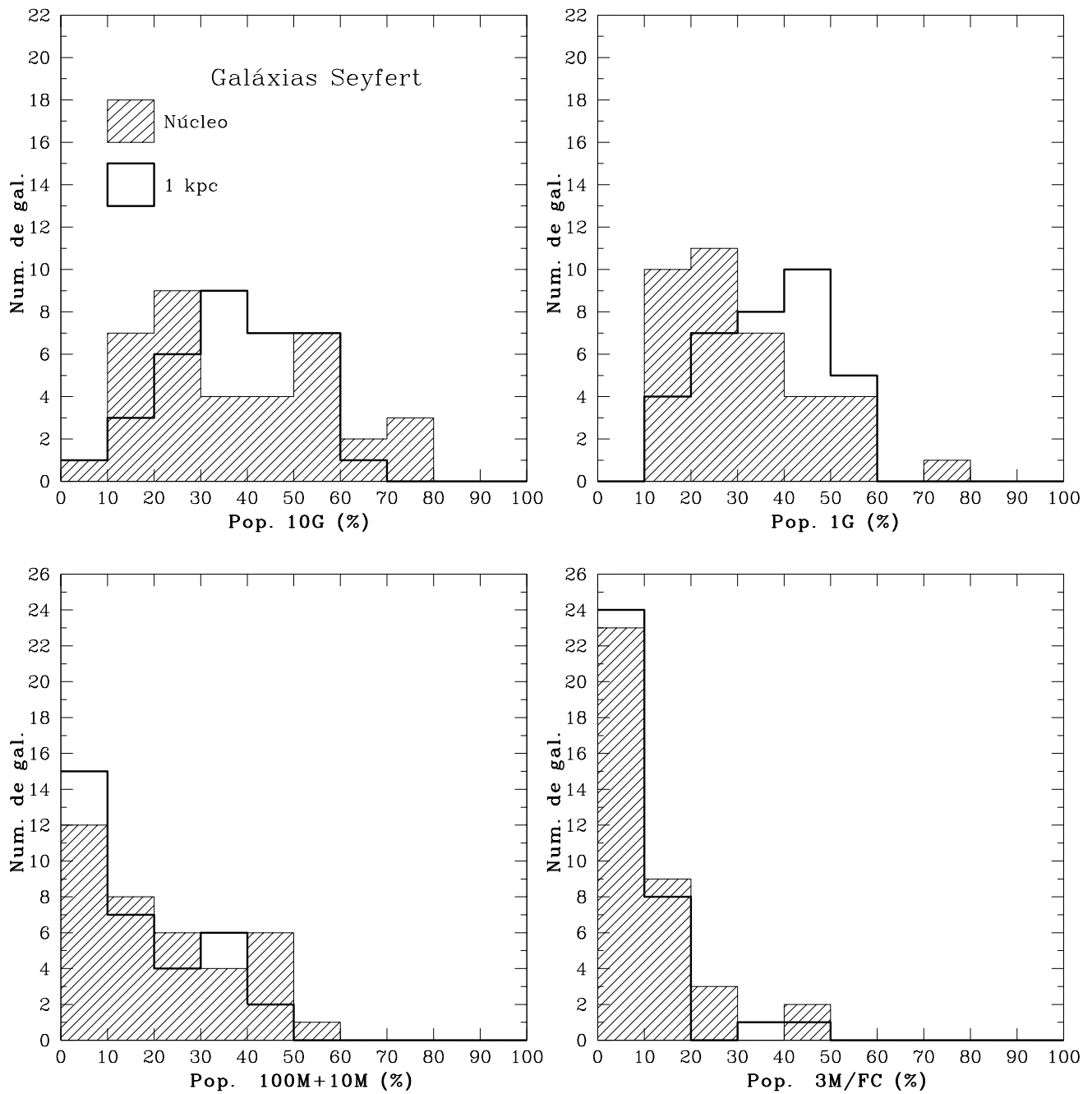


Fig. 6.5: Galáxias Seyfert – população nuclear e 1kpc do núcleo: *mesmo formato da Fig. 6.1.*

Tab. 6.2: Galáxias Seyfert e galáxias lenticulares e espirais não ativas: contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020\AA das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.

Objetos	10G	1G	100M+10M	3M/FC
Seyfert 2	38,4 (18,8)	31,1 (15,0)	20,4 (15,4)	10,1 (10,0)
Espirais e lenticulares não ativas	52,9 (15,7)	35,2 (10,1)	9,8 (12,8)	2,3 (3,6)
Seyfert 2 lenticulares	43,1 (16,3)	35,6 (11,6)	15,7 (13,3)	5,6 (5,7)
Lenticulares não ativas	68,6 (9,3)	26,0 (11,7)	5,0 (2,2)	0,4 (0,7)
Seyfert 2 espirais Sa-Sb	37,6 (20,8)	30,2 (19,8)	21,8 (19,3)	10,4 (7,6)
Espirais não ativas Sa-Sb	55,4 (3,4)	39,9 (3,8)	3,6 (1,4)	1,1 (1,0)
Seyfert 2 espirais Sbc-Sc-S	33,5 (18,0)	26,8 (11,6)	24,6 (11,8)	15,2 (12,8)
Espirais não ativas Sbc-Sc	40,8 (14,5)	37,9 (8,5)	16,9 (16,7)	4,3 (4,6)

6.2 Galáxias Seyfert 2 versus galáxias lenticulares e espirais não ativas

População estelar das galáxias Seyfert 2

Nos histogramas da Fig. 6.5 são apresentados os resultados da síntese para as 37 galáxias Seyfert 2, com a população nuclear e a 1 kpc do núcleo. É importante ressaltar que as componentes 100M+10M e 3M/FC têm contribuição significativa ($> 10\%$ do fluxo em 4020\AA) em um grande número de galáxias Seyfert 2 estudadas, resultado bastante diferente do encontrado nas populações das rádio-galáxias discutidas anteriormente. No núcleo das Seyfert 2, a componente 100M+10M é significativa em 68% da amostra e a componente 3M/FC em 38%. A 1kpc do núcleo, esses valores caem para 56% e 29%, respectivamente.

Galáxias Seyfert 2 versus lenticulares e espirais não ativas

Nas Figs. 6.6 e 6.7, os histogramas apresentam a comparação entre os resultados obtidos para galáxias Seyfert 2 com aqueles de galáxias não ativas com o mesmo tipo de Hubble. A população velha tem contribuição significativamente maior nas galáxias não ativas, enquanto que as populações jovens têm contribuição maior nas galáxias Seyfert 2 (primeira parte da Tab. 6.2).

No núcleo, a população velha contribui com pelo menos 50% do fluxo em 68% (17/25) das galáxias não ativas, enquanto que em apenas 32% (12/37) das galáxias Seyfert esta contribuição se repete. A população intermediária tem um contribuição de pelo menos 30% em 76% (19/25) das galáxias não ativas e em 43% (16/37) das galáxias Seyfert 2. A componente 100M+10M tem contribuição significativa em 68% (25/37) das Seyfert 2 e em 20% (5/25) das galáxias não ativas. Já a componente 3M/FC tem contribuição significativa em 38% (14/37) das Seyfert 2 e em 4% (1/25) das galáxias não ativas.

Apesar do pequeno decréscimo na contribuição das populações jovens a 1kpc do núcleo das galáxias Seyfert 2, ainda assim apresentam um excesso de população jovem em relação

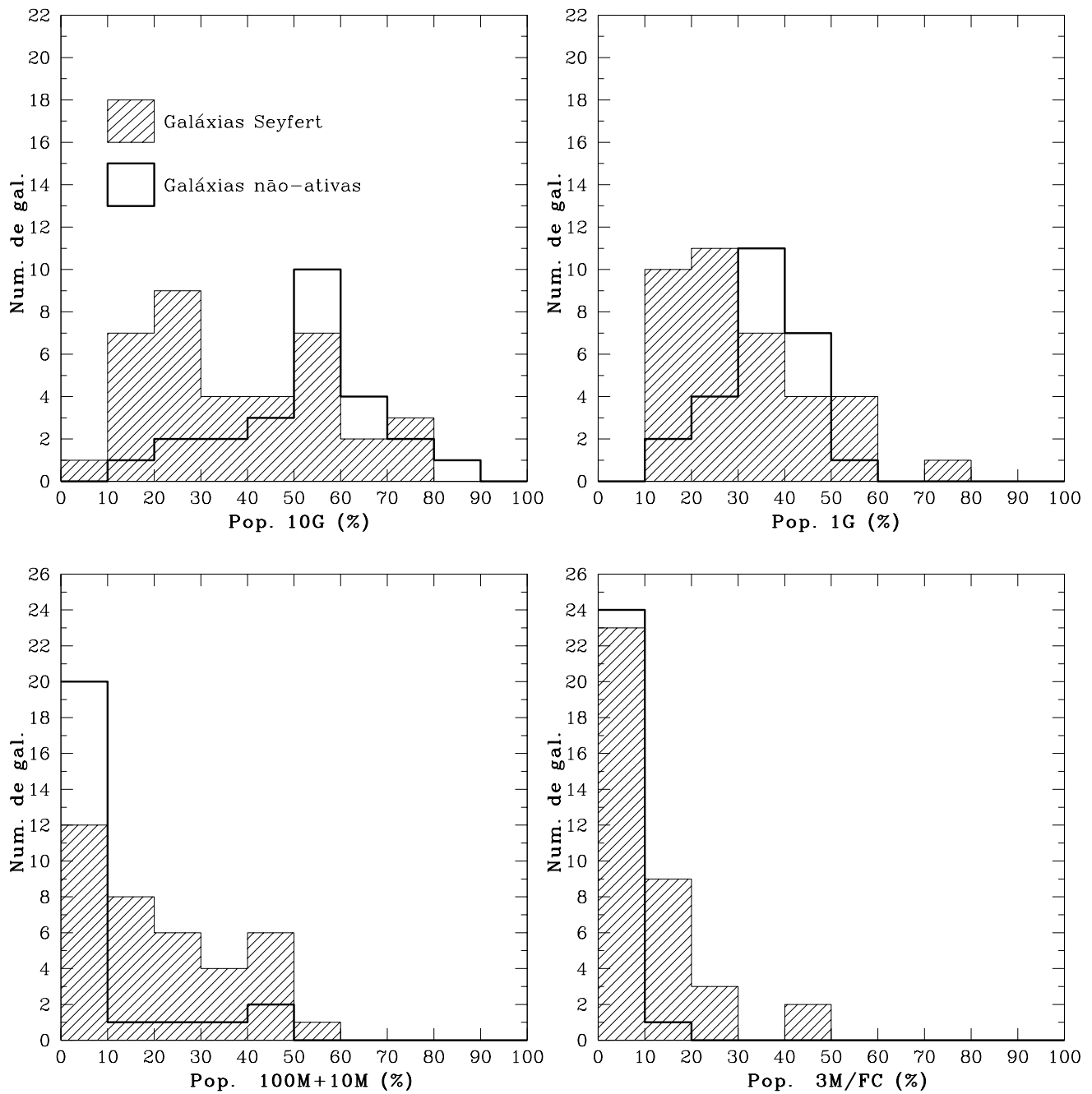


Fig. 6.6: Galáxias Seyfert versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – população nuclear: mesmo formato da Fig. 6.1.

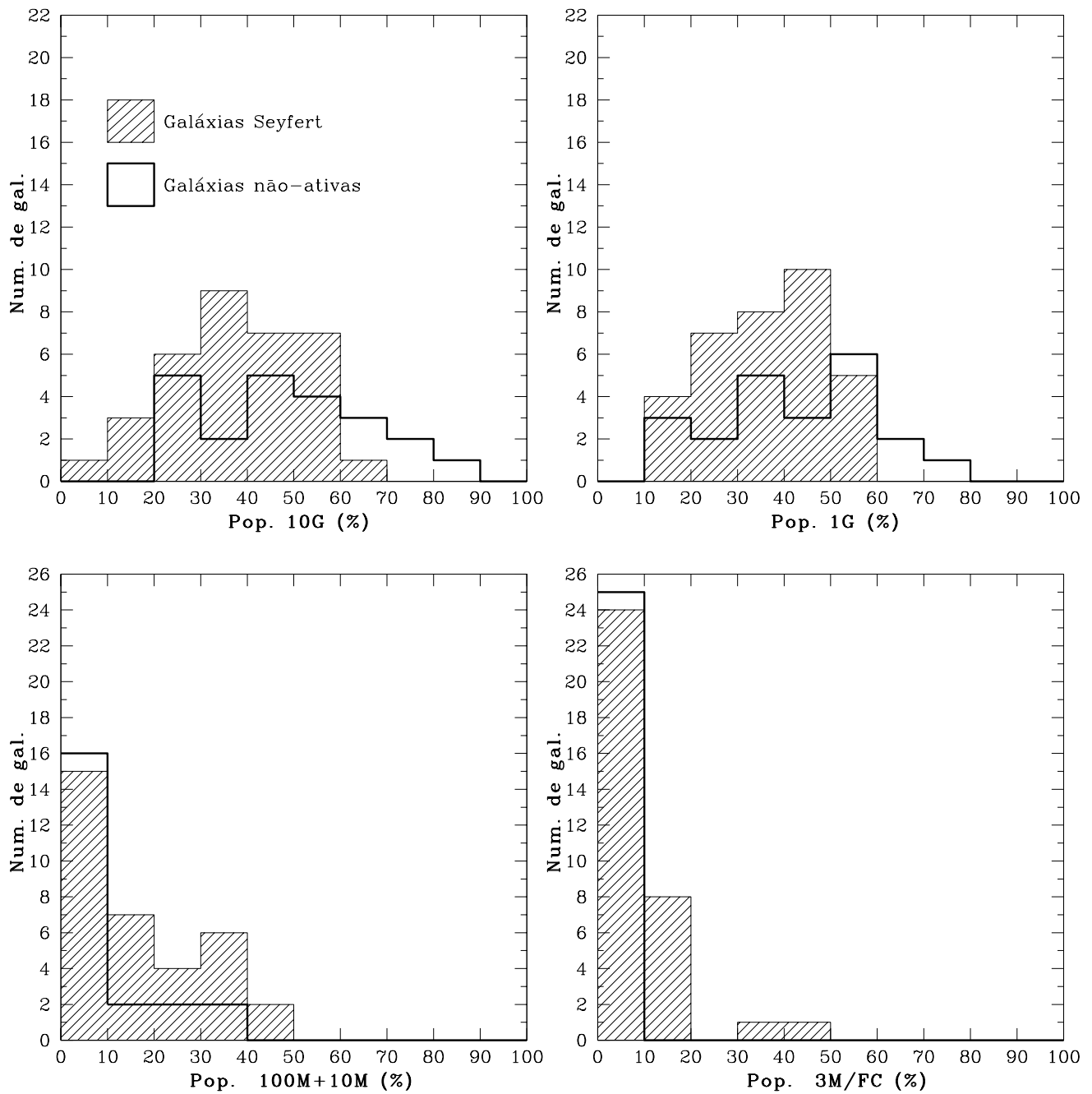


Fig. 6.7: Galáxias Seyfert versus galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble – 1kpc do núcleo: *mesmo formato da Fig. 6.1.*

às galáxias não ativas. A 1kpc do núcleo, em 56% (19/34) das galáxias Seyfert 2 a população 100M+10M é significativa ($> 10\%$) e em 27% (6/22) das galáxias não ativas isso ocorre. Com relação à componente 3M/FC, é significativa em 29% (10/34) das galáxias Seyfert 2 e nenhuma galáxia não ativa apresenta contribuição significativa desta componente.

Sub-grupos morfológicos

Para uma análise mais detalhada, a amostra de galáxias Seyfert 2 foi dividida em 3 sub-grupos, de acordo com o tipo morfológico: lenticulares, espirais Sa-Sb e espirais Sbc-Sc-S. Desta forma pode-se comparar esses três sub-grupos com galáxias não ativas de mesmos tipos morfológicos. Essa comparação é importante pois sabe-se que galáxias não ativas lenticulares e espirais apresentam populações estelares significativamente diferentes.

A contribuição média de diferentes populações estelares para esses sub-grupos é apresentada na segunda, terceira e quarta partes da Tab. 6.2. Para todos os sub-grupos a contribuição da população velha é significativamente menor nas galáxias Seyfert e a das populações jovens é maior. Com relação à população de idade intermediária, a sua contribuição é maior em galáxias Seyfert lenticulares, quando comparadas com galáxias não ativas de mesmo tipo, mas, no caso da comparação entre galáxias espirais ativas e não ativas, esta componente apresenta maior contribuição nas galáxias não ativas.

Comparando galáxias Seyfert lenticulares com galáxias Seyfert espirais observa-se que nas últimas a componente jovem tem contribuição significativamente superior, comportamento também encontrado entre as galáxias não ativas lenticulares e espirais, ou seja, o acréscimo da contribuição da população jovem para as galáxias de tipo mais tardio (“late-type”) ocorre tanto nas Seyfert como nas não ativas, embora nas primeiras a contribuição da população jovem sempre seja maior.

Pode-se enfim dizer que uma grande parte das galáxias Seyfert apresenta formação estelar recente, na região nuclear e pelo menos até 1kpc do núcleo. A contribuição para o fluxo total devido a esses episódios recentes de formação estelar é maior em galáxias que hospedam um núcleo Seyfert do que em galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble, o que indica fortemente que as condições que propiciam a atividade nuclear também estabelecem condições para que se originem episódios de formação estelar.

Gradientes de população estelar

Na região espacial estudada, a população estelar da maior parte das galáxias Seyfert apresenta gradientes bastante variados. Embora os gradientes não tenham um mesmo comportamento em todas as galáxias, em média observa-se que, com o aumento da distância ao núcleo, há uma tendência de queda da contribuição das populações mais jovens (100M+10M e 3M/FC) e um incremento na contribuição das populações velha (10G) e intermediária (1G), como pode ser visto na Fig. 6.5.

Analisando individualmente cada uma das 37 galáxias Seyfert estudadas, observa-se que apenas oito não apresentam diferenças de pelo menos 10% entre a contribuição de qualquer umas das componentes em idade no núcleo e fora dele. Os gradientes encontrados são:

- População de 10G: aumenta com a distância ao núcleo em nove galáxias Seyfert e diminui em quatro;

- População de 1G: aumenta em dezesseis galáxias Seyfert e diminui em cinco;
- População de 100M+10M: aumenta em quatro galáxias Seyfert e diminui em oito;
- População de 3M/FC: aumenta em uma galáxia Seyfert e diminui em sete.

Das 22 galáxias lenticulares e espirais não ativas cujo gradiente foi estudado, apenas cinco não apresentam gradientes significativos. Os gradientes das outras são:

- População de 10G: aumenta em três galáxias não ativas e diminui em dez;
- População de 1G: aumenta em onze galáxias não ativas e diminui em uma;
- População de 100M+10M: aumenta em duas galáxias não ativas e diminui em duas;
- População de 3M/FC: diminui em uma galáxia não ativa.

Comparando os gradientes de galáxias Seyfert com aqueles das galáxias não ativas, encontra-se de forma marcante uma semelhança e uma diferença. A semelhança está no gradiente da componente 1G. Tanto nas galáxias ativas quanto nas não ativas, essa população aumenta do núcleo para fora na metade dos objetos de cada amostra. Em apenas 15% dos objetos, a componente de 1G diminui nesta direção.

A principal diferença reside no fato de que as componentes 100M+10M e 3M/FC das galáxias Seyfert apresentam gradientes em proporção maior de galáxias do que o encontrado em galáxias não ativas. Esse resultado não chega a ser surpreendente, visto que nas galáxias não ativas as populações jovens têm um nível de contribuição muito baixo tanto no núcleo quanto fora dele (em geral $< 10\%$ do fluxo em 4020\AA). A pequena variação encontrada nas componentes jovens tem efeito direto sobre a componente 10G, que varia com frequência maior nas galáxias não ativas.

Avermelhamento interno

O avermelhamento interno encontrado nas galáxias Seyfert difere bastante daquele das rádio-galáxias. Quase todas as galáxias Seyfert apresentam um avermelhamento interno de pelo menos 0,05 no núcleo ou fora, sendo a única exceção a galáxia ESO138-G1, com $E(B-V) \approx 0$. No núcleo, $E(B-V)$ varia de 0 a 0,5 e fora do núcleo de 0 a 0,7. Em uma grande parte das galáxias Seyfert o avermelhamento interno apresenta um gradiente sistemático, diminuindo do núcleo para fora em dezessete objetos e aumentando em um objeto (NGC7130, uma galáxia Sa com morfologia peculiar). Nas demais a poeira parece estar distribuída de forma irregular.

A amostra de galáxias lenticulares e espirais não ativas apresenta níveis mais baixos de avermelhamento interno do que o encontrado em galáxias Seyfert. Tanto no núcleo quanto fora, $E(B-V)$ varia de 0 a 0,4, sendo que em somente um objeto é maior do que 0,25 (NGC1637, uma galáxia Sc). Em oito galáxias não ativas o avermelhamento interno é nulo. Das dezessete galáxias não ativas em que o avermelhamento é significativo, em seis o avermelhamento interno diminui do núcleo para fora, em duas aumenta e nas nove restantes não existe um gradiente sistemático.

Tab. 6.3: *Número de galáxias Seyfert e não ativas em função do avermelhamento interno nuclear e dos sub-grupos morfológicos.*

Sub-grupos	Seyfert		Não ativas	
	$E(B-V) \leq 0,10$	$E(B-V) > 0,10$	$E(B-V) \leq 0,10$	$E(B-V) > 0,10$
S0-S0/a	8	8	8	0
Sa-Sb	1	9	3	1
Sbc-Sc-S	5	6	8	5

Tab. 6.4: **Galáxias Seyfert e galáxias não ativas:** *amplitude total de variação (AT) da contribuição para o fluxo total em 4020\AA das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.*

Objetos	10G	1G	100M+10M	3M/FC
Seyfert 2 lenticulares	59	39	41	19
Lenticulares não ativas	30	36	6	2
Seyfert 2 espirais Sa-Sb	60	67	51	27
Espirais não ativas Sa-Sb	12	8	4	3
Seyfert 2 espirais Sbc-Sc-S	71	40	39	41
Espirais não ativas Sbc-Sc	45	31	46	17

Nas galáxias não ativas, o avermelhamento interno é fortemente dependente do tipo morfológico. No núcleo das galáxias lenticulares, por exemplo, $E(B-V)$ nunca é maior do que 0,1. Já no sub-grupo das galáxias Sbc-Sc-S, cinco (de um total de treze) galáxias têm $E(B-V)$ maior do que 0,1. A atividade nuclear quebra em parte essa dependência. Na Tab. 6.3 é apresentado o número de galáxias Seyfert e não ativas em função do avermelhamento interno nuclear e dos sub-grupos morfológicos.

A fração de galáxias Seyfert S0 a Sb com $E(B-V)$ superior a 0,1 é substancialmente maior do que a de não ativas, 65% contra 8% respectivamente. Nas galáxias Seyfert Sbc-Sc-S essa superioridade se mantém, porém de forma mais modesta (55% contra 38%). Além disso, a dependência sistemática de $E(B-V)$ com a morfologia, encontrada nas não ativas, é diferente no caso das ativas, onde a fração de galáxias com avermelhamento interno maior do que 0,1 é maior ou igual a 50% para todos os sub-grupos morfológicos.

Diversidade de populações e cenário evolutivo

Para quantificar a variação da contribuição das diferentes populações estelares dentro de cada tipo de Hubble, é introduzido o conceito de amplitude total de variação das contribuições (AT), que é a diferença entre os valores máximo e mínimo de contribuição das populações estelares de diferentes idades dentro de cada sub-grupo de galáxias estudadas. Com isso pode-se avaliar o grau de heterogeneidade de cada conjunto. É interessante des-

Tab. 6.5: Galáxias Seyfert com e sem companheiras: *contribuição média (e desvio padrão) para o fluxo total em 4020Å das populações nucleares de idades 10G, 1G, 100M+10M e 3M/FC anos.*

Objetos	10G	1G	100M+10M	3M/FC
Seyfert 2 com companheiras	31,2 (16,1)	22,5 (12,5)	29,9 (16,4)	16,4 (11,9)
Seyfert 2 sem companheiras	42,4 (18,7)	35,9 (14,0)	15,3 (12,0)	6,4 (5,8)

cobrir se galáxias que hospedam um núcleo ativo apresentam ou não a mesma variedade de populações encontrada em galáxias não ativas. As amplitudes totais de variação das contribuições são apresentadas na Tab. 6.4.

Em geral, as populações estelares encontradas nos sub-grupos de galáxias Seyfert 2 apresentam ATs muito superiores àquelas encontradas nas galáxias não ativas de mesmo tipo morfológico. Ou seja, por algum motivo as populações estelares encontradas em galáxias Seyfert 2 apresentam uma diferenciação que não é encontrada em galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble.

Este resultado é muito significativo para as populações jovens das galáxias lenticulares e espirais Sa-Sb, onde AT das galáxias Seyfert 2 é de 5 a 10 vezes superior àquela encontrada para galáxias não ativas. Já para as espirais Sbc-Sc-S, a componente 100M+10M apresenta AT semelhante em galáxias ativas e não ativas, mas a componente 3M/FC apresenta variação duas vezes e meia superior nas galáxias ativas.

Um cenário que explicaria essa grande variedade de populações encontradas em galáxias Seyfert foi proposto por Storchi-Bergmann et al. (2001). Neste cenário evolutivo, num primeiro momento uma interação entre galáxias produziria uma queda de gás na direção do centro da galáxia. Quando a quantidade de gás atingisse um valor suficiente, alimentaria o núcleo ativo e também daria início a um episódio de formação estelar. Neste momento as assinaturas da interação são ainda visíveis, o espectro apresenta as características de uma população jovem e linhas de emissão intermediárias entre aquelas de galáxias Seyfert 2 e de galáxias “Starburst”. A partir do momento em que o episódio de formação estelar se enfraquece, o espectro passa a ser dominado por características de uma população velha e tem linhas de emissão típicas de uma galáxia Seyfert.

É provável que exista um tempo de defasagem entre o início da formação estelar e o início da atividade nuclear, o que faz com que não se veja traços claros de interação em uma grande quantidade de galáxias ativas (Schmitt 2001). Aquelas galáxias ativas onde se vê claramente a presença de companheiras e/ou traços de interação deveriam apresentar episódios de formação estelar mais recentes. Na Tab. 6.5 as galáxias Seyfert 2 da amostra foram divididas em dois subgrupos, um grupo onde as galáxias apresentam companheiras próximas e sinais de interação (13 galáxias) e outro onde não apresentam (24 galáxias). As galáxias Seyfert com companheiras apresentam menor contribuição das populações velha e intermediária, e maior contribuição de populações jovens, confirmando a idéia que as interações produzem condições adequadas para disparar a formação estelar e reforçando a idéia do cenário evolutivo proposto por Storchi-Bergmann e colaboradores.

Por outro lado, episódios intensos de formação estelar necessitam de uma quantidade de

gás para se manter superior àquela de um núcleo ativo (Mouri & Taniguchi 2004), o que faz com que uma fração de galáxias ativas não experimentem formação estelar recente, por não terem gás suficiente para isto. Neste caso, o espectro da galáxia seria dominado por uma população velha com linhas de emissão típicas de uma galáxia Seyfert ou de um AGN menos luminoso.

Dentro do cenário acima, a diversidade de amplitudes encontrada pode então ser explicada como sendo devida a diferentes estágios evolutivos em que as galáxias provavelmente se encontram e também devido à quantidade de gás disponível; se esta quantidade for muito pequena, pode não ocorrer o disparo de formação estelar.

Comparação do estudo atual com outros anteriores

Dois trabalhos bastante relevantes no estudo da conexão entre atividade nuclear e população estelar de galáxias Seyfert 2 e cujos resultados podem ser comparados com os do estudo atual são as publicações de Joguet et al. (2001) e Kauffmann et al. (2003).

Joguet e colaboradores estudaram a população nuclear de 79 galáxias Seyfert 2 e observaram que as galáxias de sua amostra, após ser subtraída a população do bojo, podiam ser classificadas em três grupos: (a) grupo Sy2e, em cujo espectro ótico-UV próximo pode-se ver muitas linhas de emissão fortes e somente duas linhas de absorção, CaIIK e banda G; (b) grupo Sy2a, com poucas linhas de emissão, muitas linhas de absorção e um contínuo mais avermelhado do que o do grupo anterior, e (c) grupo Sy2b, onde as linhas de alta ordem da série de Balmer podem ser vistas em absorção, uma característica da presença de populações jovens (≤ 100 milhões de anos). Através de inspeção visual e correlação cruzada entre os espectros das galáxias Seyfert e de uma estrela A0Ia na região de $\lambda\lambda 3670 - 4000\text{\AA}$, concluíram que a fração de galáxias em cada grupo corresponde a 22%, 28% e 50%, respectivamente. Ou seja, em metade da amostra de galáxias Seyfert 2 estudada, observa-se a presença de populações jovens.

Comparando esses resultados aos encontrados no estudo atual, onde se conclui que no núcleo, 68% das galáxias Seyfert 2 da amostra apresentam uma contribuição significativa de populações de 100 milhões de anos ou mais jovens (incluindo a contribuição de um contínuo FC), percebe-se que são muito semelhantes, visto que uma fração das galáxias incluídas por Joguet e colaboradores no grupo Sy2e deve apresentar também contribuição de uma população jovem e/ou contínuo FC, que não é determinada pelo método utilizado por eles.

O trabalho de Kauffmann e colaboradores apresenta os resultados de uma amostra muito grande de AGNs de linhas estreitas (22623 objetos) selecionadas do Sloan Digital Sky Survey. Diferentemente do estudo atual e daquele de Joguet et al. (2001), a região espacial estudada engloba em um único espectro a região nuclear e extranuclear, fazendo com que os espectros se aproximem mais da população global da galáxia do que do núcleo. Fazem parte dessa amostra galáxias Seyfert 2, LINERs e Objetos de Transição. Não tanto as características das observações sugerem que se faça uma comparação com o trabalho atual, mas sim o número de objetos, a maior amostra de galáxias Seyfert 2 já estudada de forma homogênea até o momento.

Através deste trabalho, chegaram à conclusão de que AGNs de todas as luminosidades são encontrados quase que exclusivamente em galáxias massivas e têm distribuições de tamanho e de densidade superficial de massa estelar semelhantes àsquelas encontradas em

galáxias “early-type” (E-S0) da amostra do Sloan. Além disso, as galáxias que hospedam AGNs de baixa luminosidade (LINERs e Objetos de Transição) têm uma população estelar bastante semelhante aquela encontrada em galáxias “early-type”, com uma população velha dominante, enquanto que as galáxias que hospedam AGNs de mais alta luminosidade (galáxias Seyfert) têm populações de idades médias muito mais jovens, típicas de galáxias “late-type” (Sb-Sc). As estrelas jovens encontradas em galáxias Seyfert 2 não estão localizadas preferencialmente na região nuclear, mas espalham-se por vários quiloparsecs. Apesar das galáxias Seyfert apresentarem populações de idades médias típicas de galáxias “late-type”, uma grande fração delas parece ter experimentado episódios de formação estelar há 1 ou 2 bilhões de anos.

Um dos resultados que mais chamou a atenção dos autores é o fato de que as galáxias Seyfert 2 são encontradas em “bojos jovens”, ou seja, galáxias com densidades superficiais estelares semelhantes àsquelas encontradas em galáxias “early-type”, mas com populações jovens. Esse resultado confirma o encontrado no trabalho atual, onde as galáxias Seyfert 2 apresentam uma contribuição de populações jovens muito maior do que aquela encontrada em galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble.

Outro ponto em que o estudo atual concorda com o trabalho de Kauffmann e colaboradores é com relação ao fato de que estrelas jovens são encontradas não somente no núcleo mas também a vários quiloparsecs deste. Encontramos no trabalho atual que aproximadamente metade das galáxias Seyfert 2 têm contribuição de populações jovens significativas a 3kpc do núcleo.

Por fim, outro resultado em concordância é o fato de que uma fração significativa das galáxias Seyfert 2 experimentaram episódios de formação estelar há alguns bilhões de anos. Nas galáxias Seyfert 2 estudadas no trabalho atual, a componente 1G contribui com pelo menos 30% do fluxo em 43% dos objetos da amostra no núcleo e a 1kpc em 68% dos objetos.

Capítulo 7

Conclusões

Neste trabalho foram estudadas as populações estelares nucleares e extranucleares de 37 galáxias Seyfert 2, 24 rádio-galáxias, 11 galáxias não ativas elípticas, 7 galáxias não ativas lenticulares e 18 galáxias não ativas espirais. Os espectros óticos destes objetos foram analisados em um primeiro momento através do estudo da variação radial das larguras equivalentes de características espectrais de absorção e de razões do contínuo. Num segundo momento foram determinadas, através do método de síntese espectral de populações estelares, as contribuições para o fluxo total em 4020Å de componentes de diferentes idades (de 3 milhões a 10 bilhões de anos) e de uma componente tipo lei de potência (representando a radiação produzida pelo núcleo ativo das galáxias).

Pela primeira vez se fez um estudo detalhado (com resolução espectral) da população estelar nuclear e extranuclear de uma amostra de porte médio de galáxias ativas Seyfert 2 e rádio-galáxias. Também é o primeiro estudo que apresenta de forma homogênea uma comparação entre a população de galáxias ativas e a população de uma amostra de controle, composta por galáxias não ativas de mesmo tipo de Hubble.

Uma série de questões motivaram esse estudo. Nos próximos parágrafos essas questões são re-colocadas e respondidas através dos resultados obtidos.

Que fração das galáxias Seyfert 2 e das rádio-galáxias FRI e FRII exibem sinais de formação estelar recente nas regiões nuclear e extranuclear?

Quais são as idades das estrelas ao redor do AGN?

Enquanto uma grande fração de galáxias Seyfert 2 apresenta formação estelar recente (com idades iguais ou inferiores a 100 milhões de anos), tanto no núcleo quanto fora dele, o mesmo não se encontra em relação às rádio-galáxias. Populações jovens são significativas (contribuindo para mais do que 10% do fluxo total em 4020Å) em mais de 60% das galáxias Seyfert 2, enquanto que em rádio-galáxias essas populações são significativas em apenas 10% dos objetos estudados.

Nas galáxias Seyfert 2 encontram-se gradientes na população estelar da metade dos objetos estudados. O comportamento sistemático mais significativo é da população de 1 bilhão de anos, cuja contribuição aumenta do núcleo para fora em 43% das galáxias Seyfert 2. As populações jovens diminuem do núcleo para fora, de forma significativa, em 22% dos objetos.

Nas rádio-galáxias não há indicação da ocorrência de gradientes de população estelar.

Em geral, as contribuições de populações de diferentes idades são semelhantes no núcleo e dentro da região espacial estudada de cerca de 6kpc ao seu redor.

Com relação ao avermelhamento interno, $E(B-V)$ varia de 0,05 a 0,70 nas galáxias Seyfert 2 e em 62% da amostra é maior do que 0,10. Além disso, apresenta um gradiente sistemático, diminuindo do núcleo para fora em metade dos objetos da amostra. As rádio-galáxias em geral não apresentam $E(B-V)$ significativo, em 80% da amostra é nulo e em um único objeto é maior do que 0,2.

Em relação à população estelar da galáxia hospedeira, vê-se que galáxias Seyfert 2 e rádio-galáxias apresentam características muito diferentes, onde as primeiras apresentam uma população bem mais diversificada do que as últimas, tanto em termos de contribuição das populações de diferentes idades, quanto em relação a gradientes de população estelar e aos avermelhamentos internos das galáxias.

Existem diferenças significativas na população estelar nuclear e extranuclear, entre rádio-galáxias de tipo FRI e FR II?

A freqüência com que ocorre formação estelar recente (de 100 milhões de anos ou menos) em rádio-galáxias é muito baixa. No núcleo, apenas três rádio-galáxias estudadas têm contribuição das componentes 100+10M e 3M/FC significativa. Nenhuma destas é classificada como rádio-galáxia FRI. Duas são rádio-galáxias FR II e uma tem morfologia indefinida. As rádio-galáxias que apresentam uma contribuição significativa da componente 3M/FC têm linhas largas no seu espectro de emissão, indicação clara de que uma boa parte desta contribuição deve-se ao AGN e não a uma população estelar de alguns milhões de anos. Assim sendo, em apenas dois casos pode-se afirmar com certeza que há uma contribuição significativa de populações de 100 milhões de anos ou menos. Uma destas galáxias é FR II e a outra tem morfologia indefinida.

Nenhuma rádio-galáxia FRI apresenta contribuição significativa de populações jovens, enquanto que em uma ou duas rádio-galáxias FR II isso ocorre. Esse resultado sugere que existe uma pequena diferença entre a população estelar das rádio-galáxias FRI e FR II estudadas. Essa diferença precisa ser melhor estudada, através de uma amostra de rádio-galáxias maior, para se verificar se não é originada apenas pelo pequeno número de objetos analisados em cada grupo.

Existem diferenças significativas na população estelar nuclear e extranuclear, entre galáxias que hospedam AGN e aquelas não ativas de mesmo tipo de Hubble?

As galáxias Seyfert 2 apresentam uma diversidade de populações bastante grande e em geral muito diferentes daquelas encontradas em galáxias não ativas lenticulares e espirais.

As galáxias Seyfert 2 têm avermelhamentos internos maiores do que aqueles encontrados em galáxias não ativas. Em apenas uma galáxia Seyfert o avermelhamento interno é nulo, resultado encontrado em mais de 30% das galáxias não ativas. Além disso, a forte dependência do avermelhamento interno com o tipo morfológico, presente nas galáxias não

ativas, é em parte quebrada quando a galáxia hospeda um núcleo ativo.

As galáxias Seyfert 2 têm em média populações estelares bem mais jovens do que galáxias lenticulares e espirais não ativas. Este resultado também é válido quando as amostras de galáxias Seyfert e não ativas são subdivididas em S0, Sa-Sb, Sbc-Sc-S. Galáxias Seyfert 2 também apresentam populações mais heterogêneas do que galáxias não ativas. Com relação à conexão entre companheiras próximas (conseqüentemente interações) e população estelar, observa-se que galáxias Seyfert com companheiras e/ou sinais claros de interação têm populações estelares mais jovens do que aquelas que não têm companheiras e/ou sinal de interação.

Com relação aos gradientes das populações estelares, galáxias Seyfert 2 e não ativas apresentam uma semelhança e uma diferença marcantes. A semelhança reside no gradiente da população de 1 bilhão de anos, cuja contribuição aumenta do núcleo para fora na metade das galáxias ativas e não ativas. Já a diferença está no gradiente das populações mais jovens, que diminuem do núcleo para fora, de forma significativa, nas Seyfert 2, e o mesmo não ocorre nas galáxias não ativas.

As rádio-galáxias, além de apresentarem uma pequena diversidade de populações estelares, apresentam em muito aspectos populações semelhantes àquelas encontradas em galáxias não ativas elípticas e lenticulares. Tanto as rádio-galáxias quanto galáxias não ativas apresentam avermelhamento interno aproximadamente nulo e populações estelares que não apresentam variações significativas ao longo da região estudada.

A principal diferença reside na contribuição das populações de 1 e 10 bilhões de anos. Nas rádio-galáxias a contribuição para o fluxo em 4020Å da população velha é menor e a da intermediária maior do que o encontrado nas galáxias não ativas. Portanto, episódios de formação estelar de 1 bilhão de anos ocorreram com maior freqüência em rádio-galáxias do que em galáxias não ativas. Episódios de formação estelar mais recentes são encontrados com baixa freqüência, tanto em rádio-galáxias quanto em lenticulares e elípticas não ativas.

Quais são as conexões entre atividade nuclear e formação estelar?

O AGN evolui junto com suas estrelas vizinhas?

Para as galáxias Seyfert 2, os resultados encontrados são consistentes com a idéia de um cenário evolutivo, onde uma interação pode provocar a queda do gás na direção do núcleo das galáxias provocando um ou mais episódios de formação estelar e de atividade nuclear (Storchi-Bergmann et al. 2001). Quando a formação estelar é dominante, as assinaturas da interação são ainda visíveis e o espectro apresenta as características de uma população jovem e linhas de emissão intermediárias entre aquelas de galáxias Seyfert 2 e de galáxias “Starburst”. A partir do momento em que o episódio de formação estelar se enfraquece, o espectro passa a ser dominado por características de uma população velha e tem linhas de emissão típicas de uma galáxia Seyfert.

É provável que exista um tempo de defasagem entre o início da formação estelar e o início da atividade nuclear, o que faz com que não se veja traços claros de interação em uma grande quantidade de galáxias ativas. Aquelas galáxias ativas onde se vê claramente

a presença de companheiras e/ou traços de interação apresentam episódios de formação estelar mais recentes.

Por outro lado, episódios intensos de formação estelar necessitam de uma quantidade de gás para se manter superior àquela de um núcleo ativo, o que faz com que uma fração de galáxias ativas não experimente formação estelar recente, por não ter gás suficiente para isto (Mouri & Taniguchi 2002). Neste caso, o espectro da galáxia é dominado por uma população velha com linhas de emissão típicas de uma galáxia Seyfert ou de um AGN menos luminoso.

Dentro do cenário acima, a diversidade de amplitudes encontrada pode então ser explicada como sendo devida a diferentes estágios evolutivos em que as galáxias provavelmente se encontram e também devido à quantidade de gás disponível; se esta quantidade for muito pequena, pode não ocorrer o disparo de formação estelar.

No caso das rádio-galáxias, as interações que originaram a atividade nuclear parecem ter ocorrido há mais tempo (1 bilhão de anos atrás para a maioria dos objetos estudados), visto que episódios de formação estelar recente são muito menos frequentes nestes objetos do que em galáxias Seyfert.

7.1 Perspectivas futuras

7.1.1 Quebra de degenerescência entre FC e componente 3M e entre idade e metalicidade

Um dos limitadores do uso do método de síntese na faixa de comprimentos de onda utilizada é o fato de que não é possível discriminar diferentes metalicidades de forma conclusiva. Também não se consegue discriminar a contribuição da componente mais jovem 3M da contribuição da componente FC.

A quebra da degenerescência entre idade e metalicidade se conseguiria observando as galáxias na região espectral do triplete do cálcio (8500\AA). Em conjunto com as linhas metálicas do ultra-violeta próximo, poderia quebrar-se essa degenerescência, determinando assim a contribuição de cada componente em idade e também em metalicidade.

Já a quebra da degenerescência entre as componentes 3M e FC é mais complicada, pois mesmo no ultra-violeta próximo essas componentes são bastantes semelhantes. Uma alternativa seria fazer imagens $H\alpha$ de alta resolução da região nuclear e circumnuclear daquelas galáxias onde se tem dúvida na contribuição destas componentes. Com imagens deste tipo se pode determinar a presença ou não de regiões de formação estelar recente. Imagens no ultra-violeta com o Telescópio Espacial Hubble foram recentemente obtidas por Schmitt et al. (2004) e podem ajudar também a levantar esta degenerescência.

7.1.2 Observações mais profundas

Com os turnos de observação disponíveis, foi possível obter somente cerca de duas extrações extranucleares em média para as rádio-galáxias, o que de certa forma limitou o estudo dos gradientes. Em continuação a este projeto, pretende-se realizar observações mais profundas, para atingir maiores distâncias ao núcleo. O telescópio SOAR, que está recém entrando em operação, será um instrumento totalmente adequado a este estudo.

Além disso, o acesso a mais tempo de observação num telescópio de 4m vai possibilitar que se observe com o mesmo instrumento não somente as galáxias ativas, mas também as de controle, o que possibilitará também a utilização de uma amostra que esteja, em média, a uma distância semelhante àquela das galáxias ativas.

7.1.3 Ampliação da amostra de rádio-galáxias

Uma questão que permanece em aberto é se existem diferenças na população estelar de rádio-galáxias FRI e FRII. Apesar desta ser a maior amostra de rádio-galáxias próximas cuja população estelar foi estudada com detalhe, para responder essa questão de forma definitiva é preciso ampliar a amostra de rádio-galáxias estudadas e para isso existe a necessidade de um tempo maior de observação.

Apêndice A

Resultados da síntese

Neste apêndice são apresentados os resultados da síntese utilizando o método de síntese espectral de populações estelares.

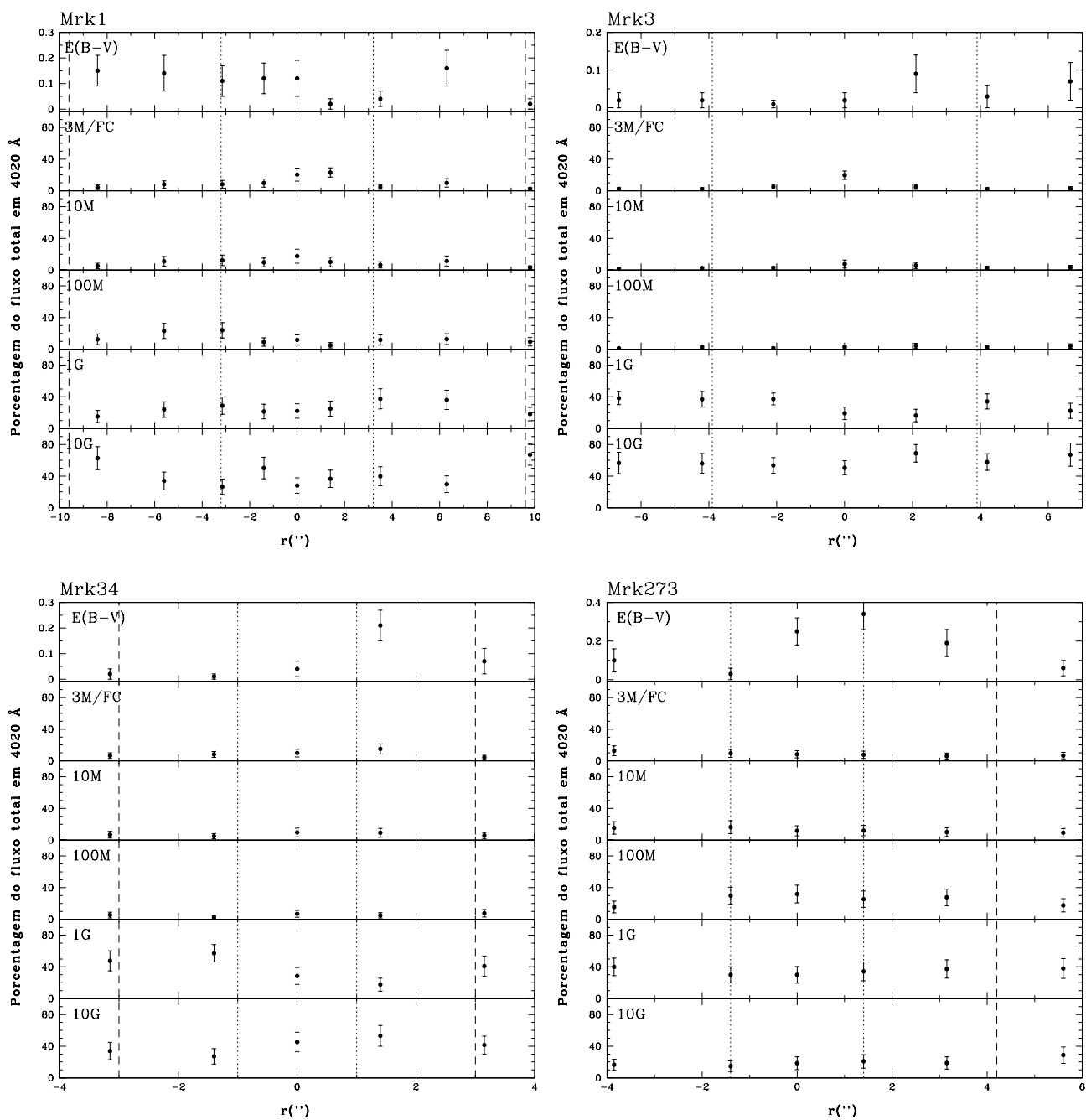


Fig. A.1: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

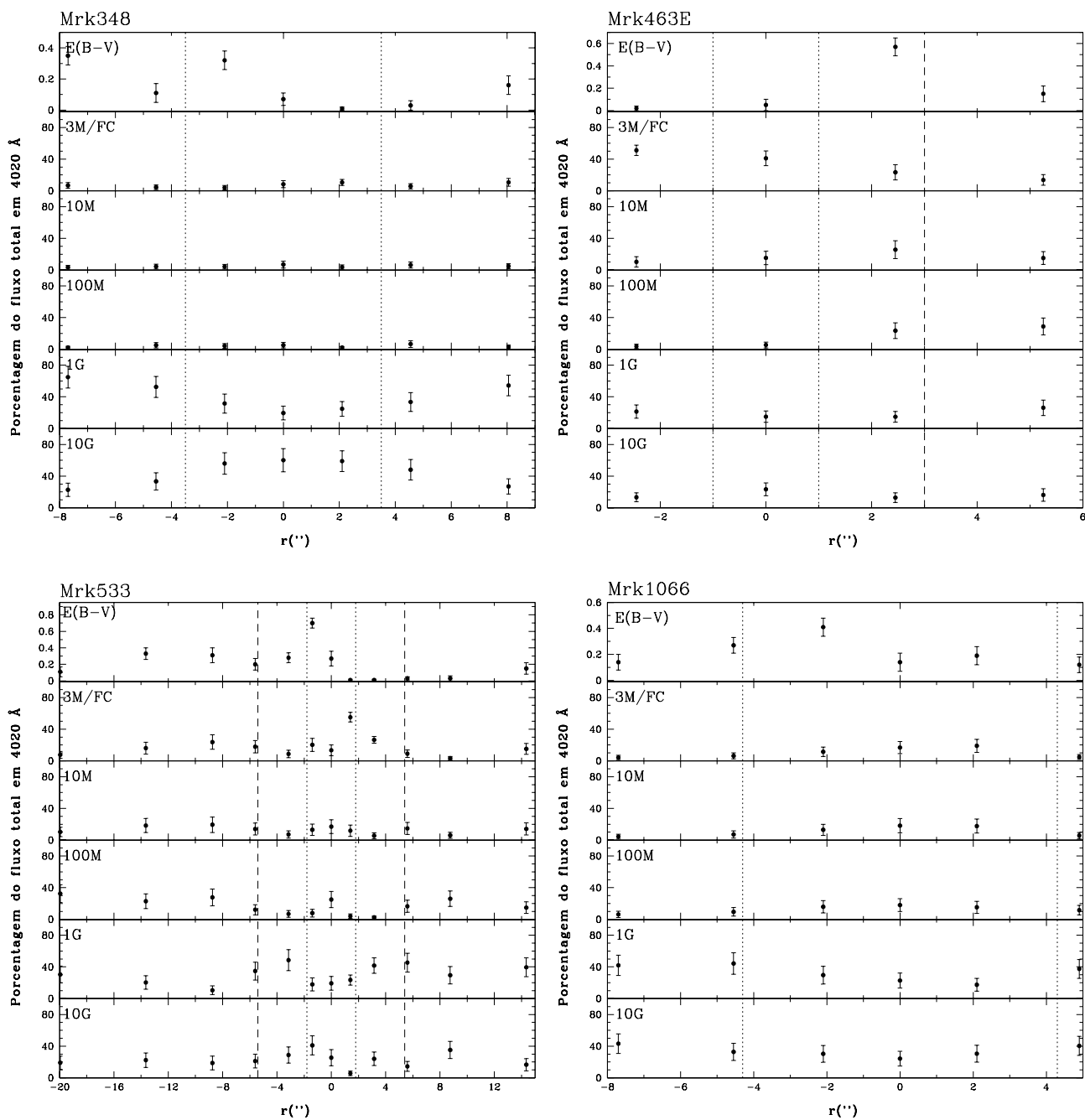


Fig. A.2: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

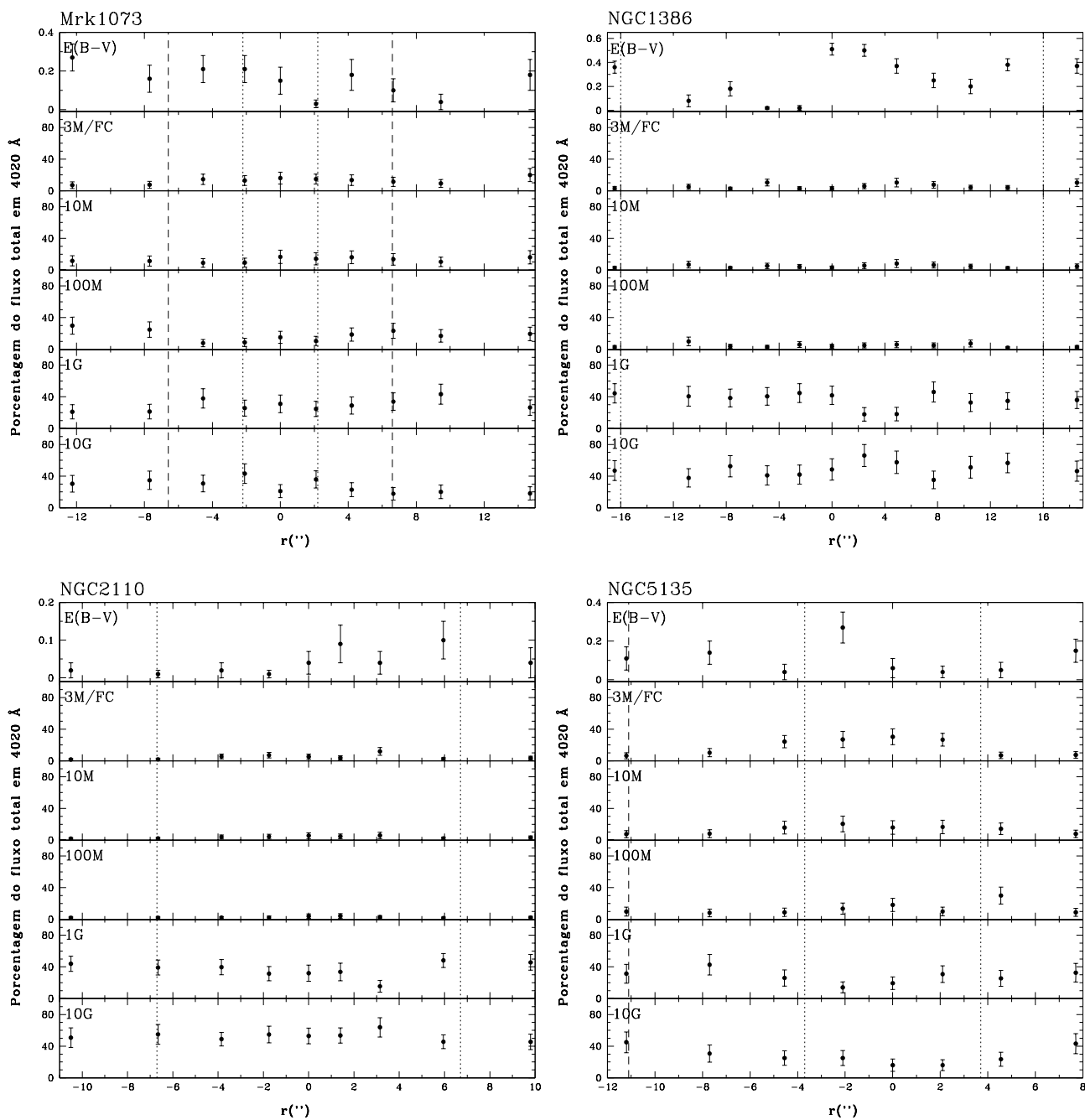


Fig. A.3: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

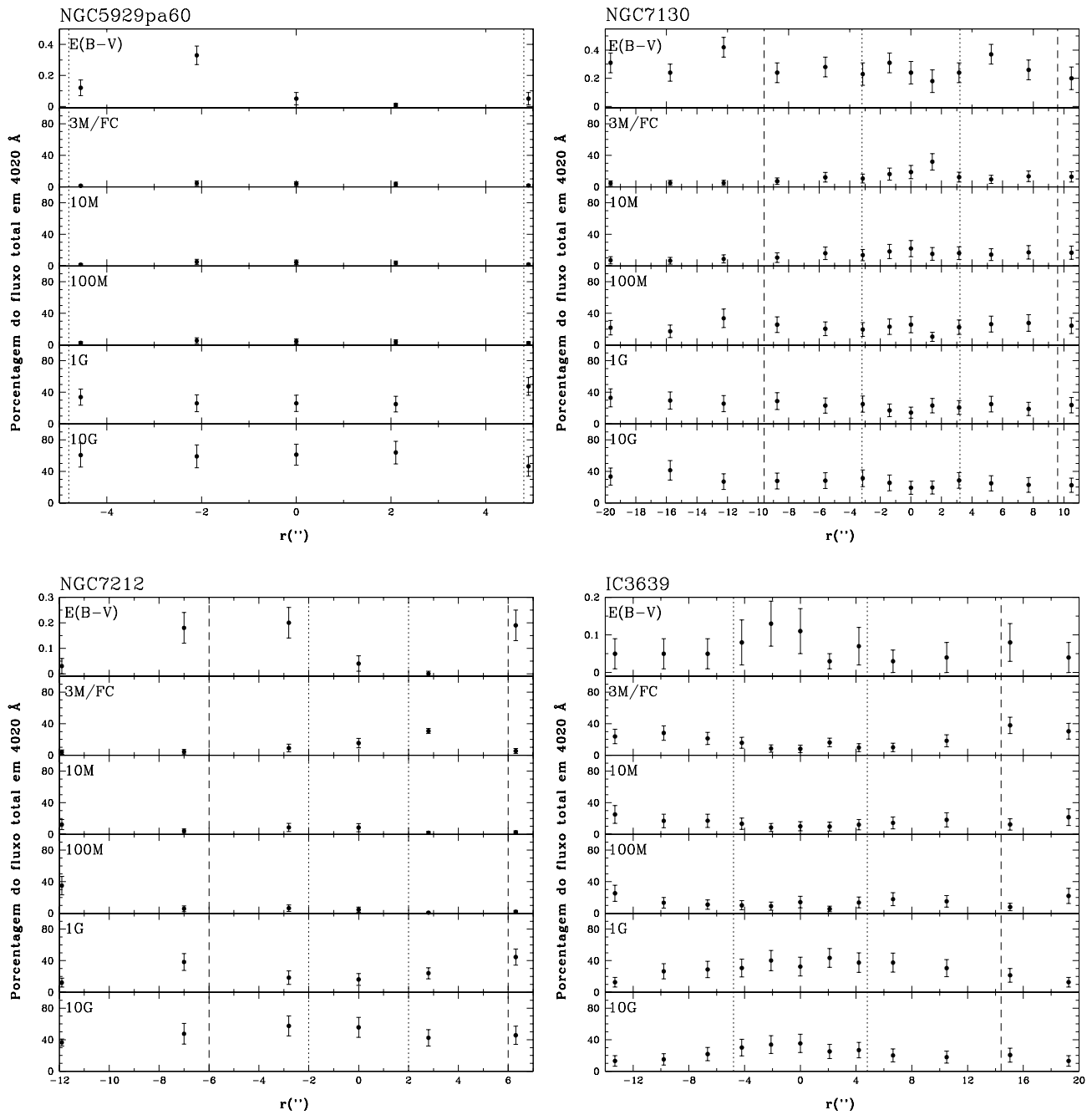


Fig. A.4: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

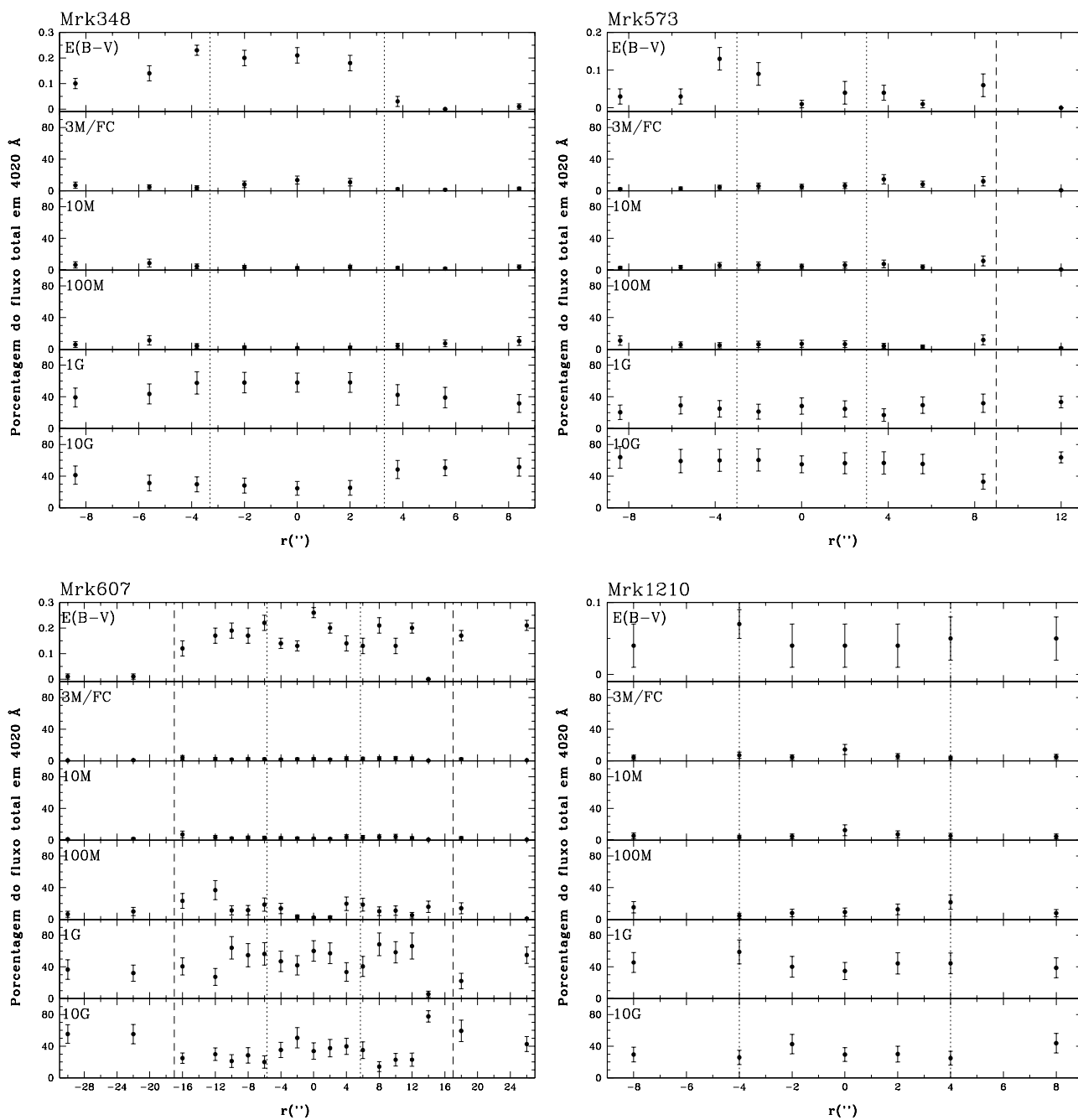


Fig. A.5: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

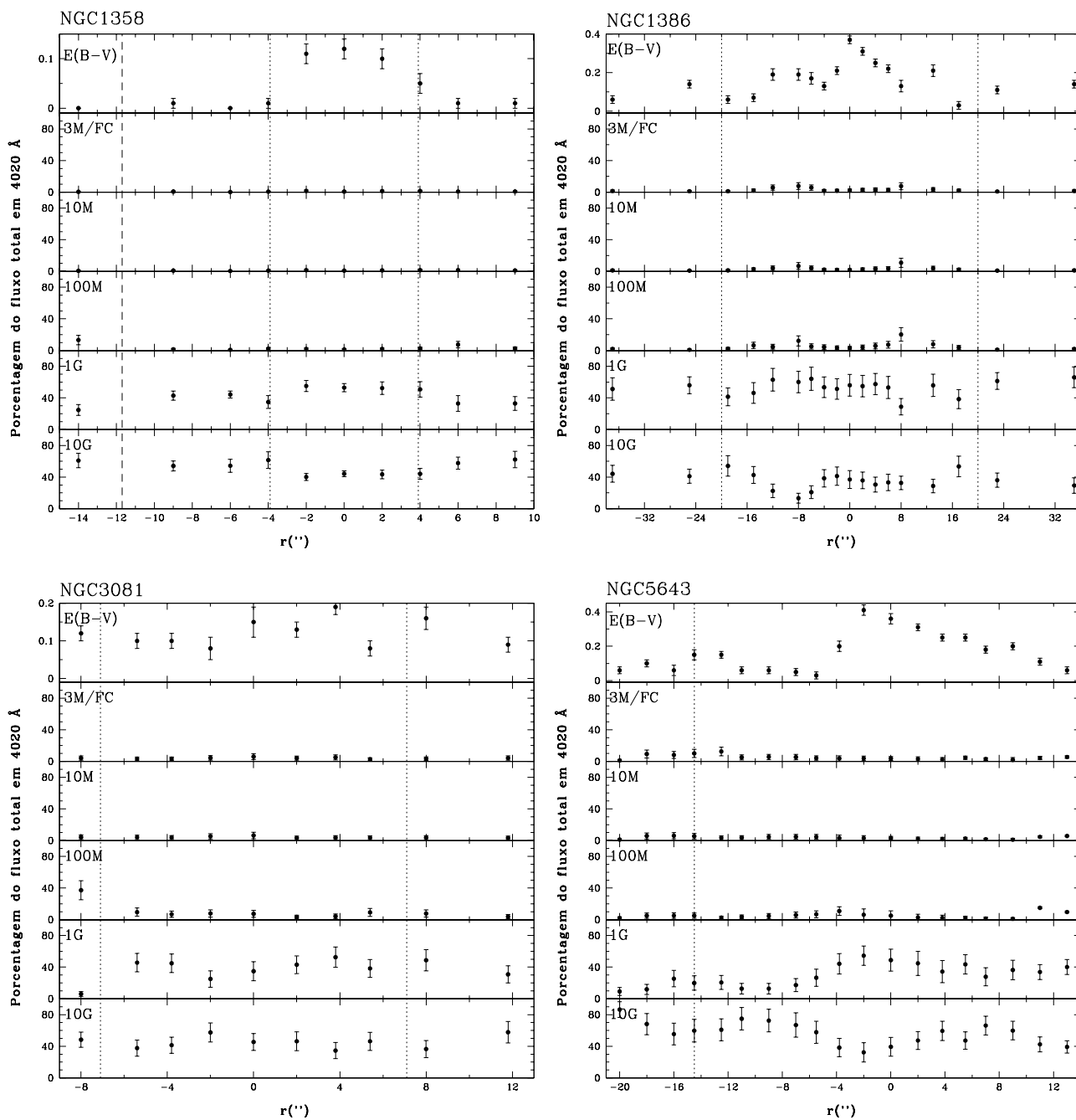


Fig. A.6: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

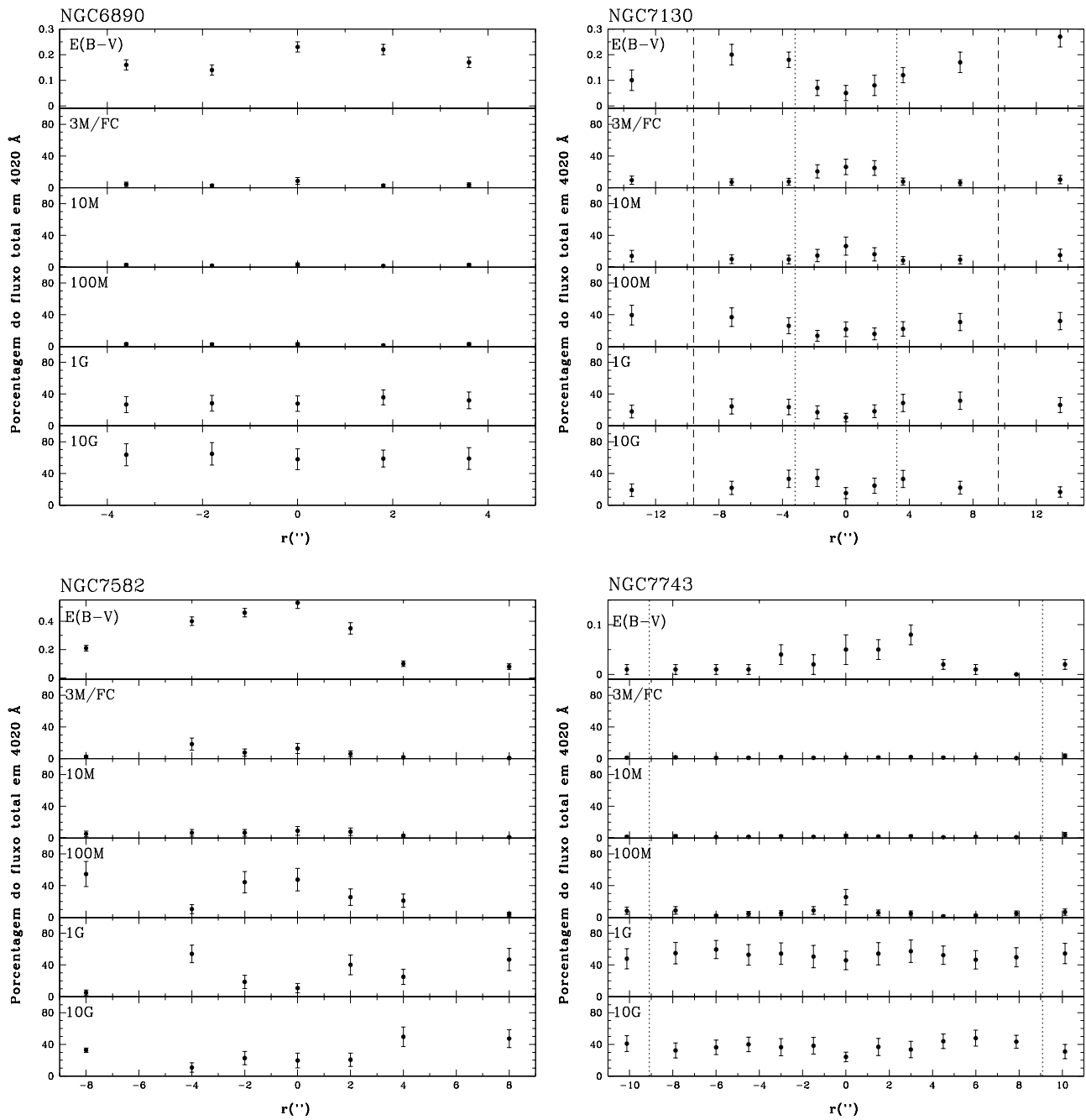


Fig. A.7: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

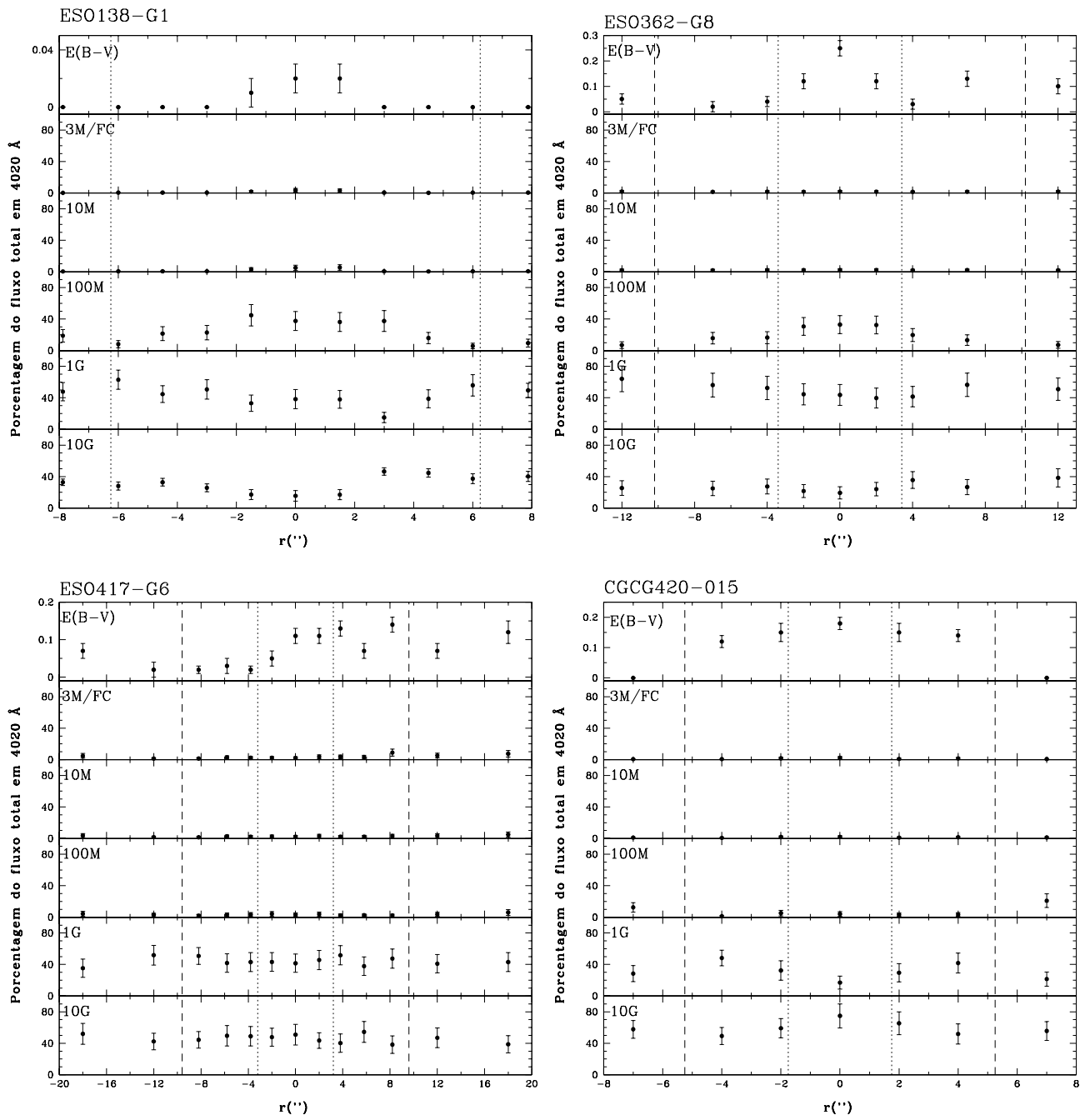


Fig. A.8: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

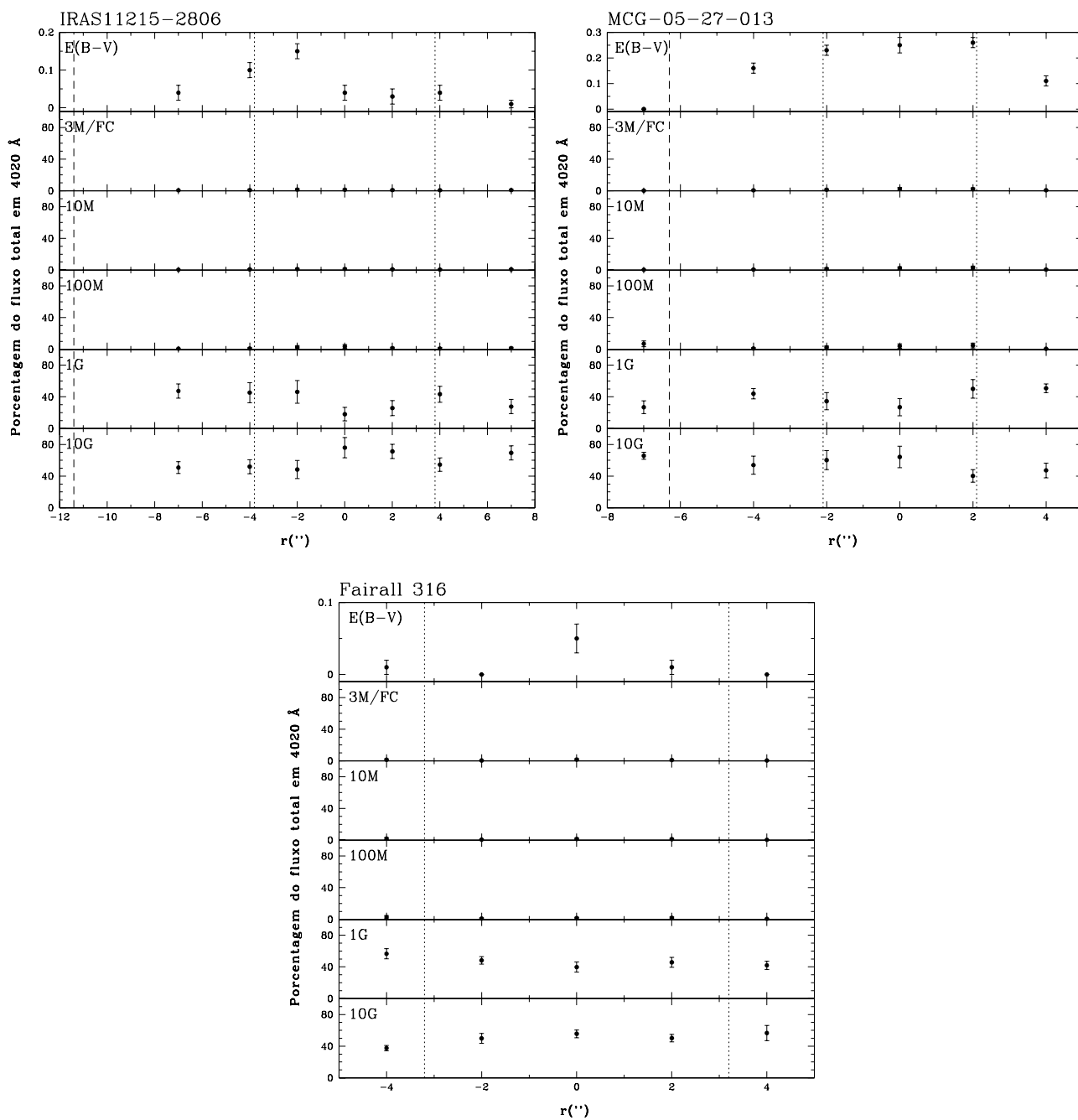


Fig. A.9: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

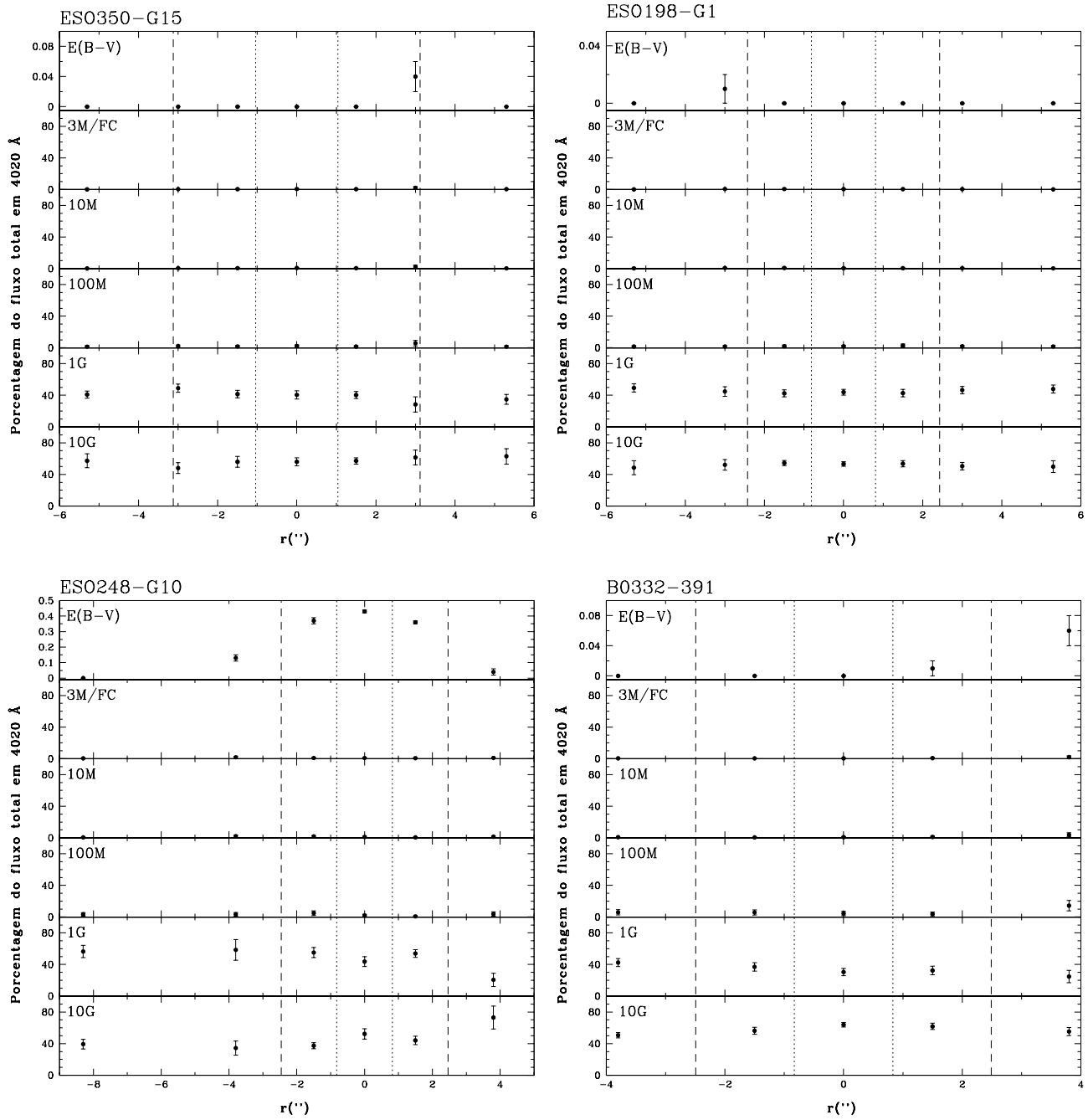


Fig. A.10: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

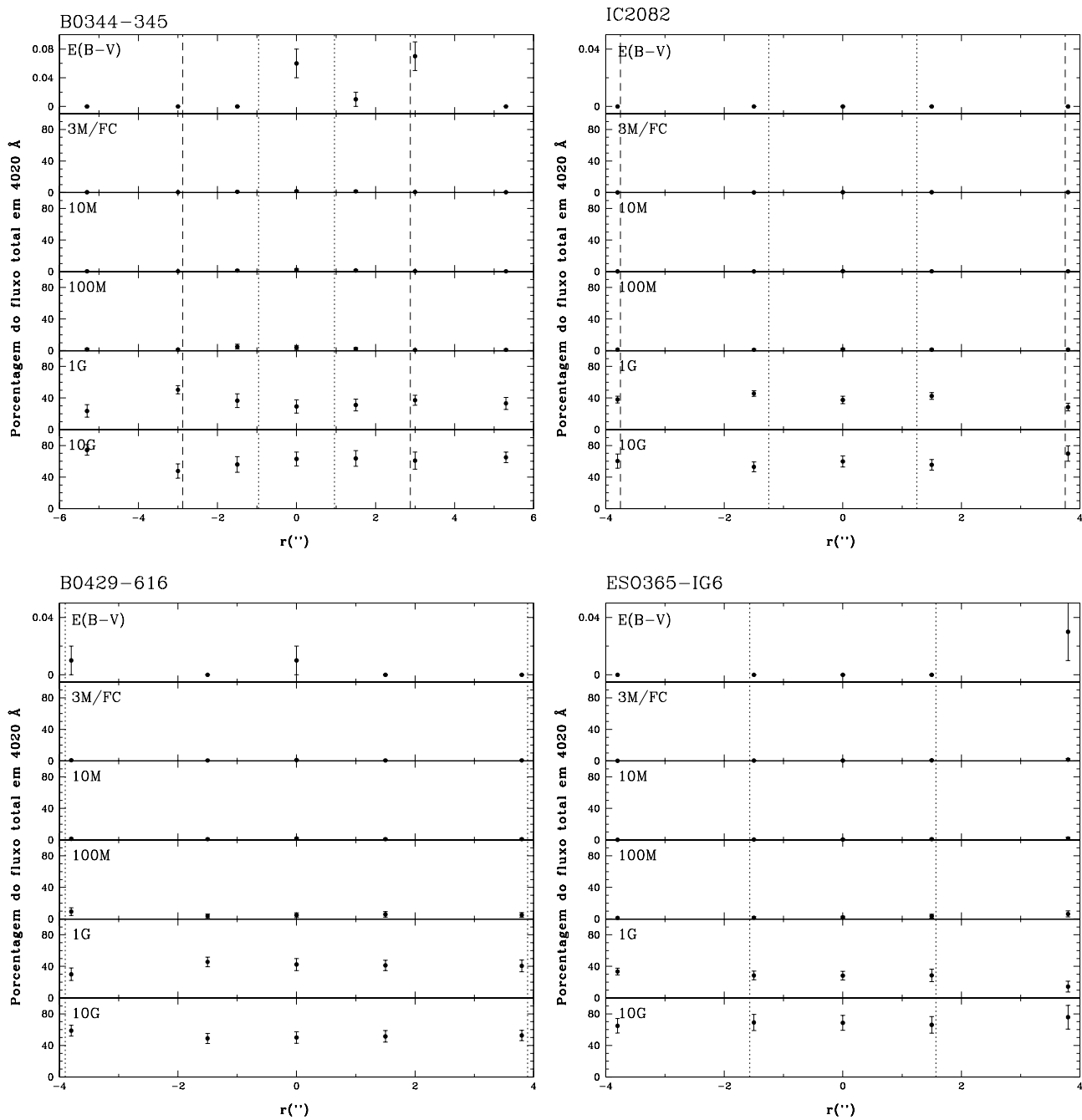


Fig. A.11: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

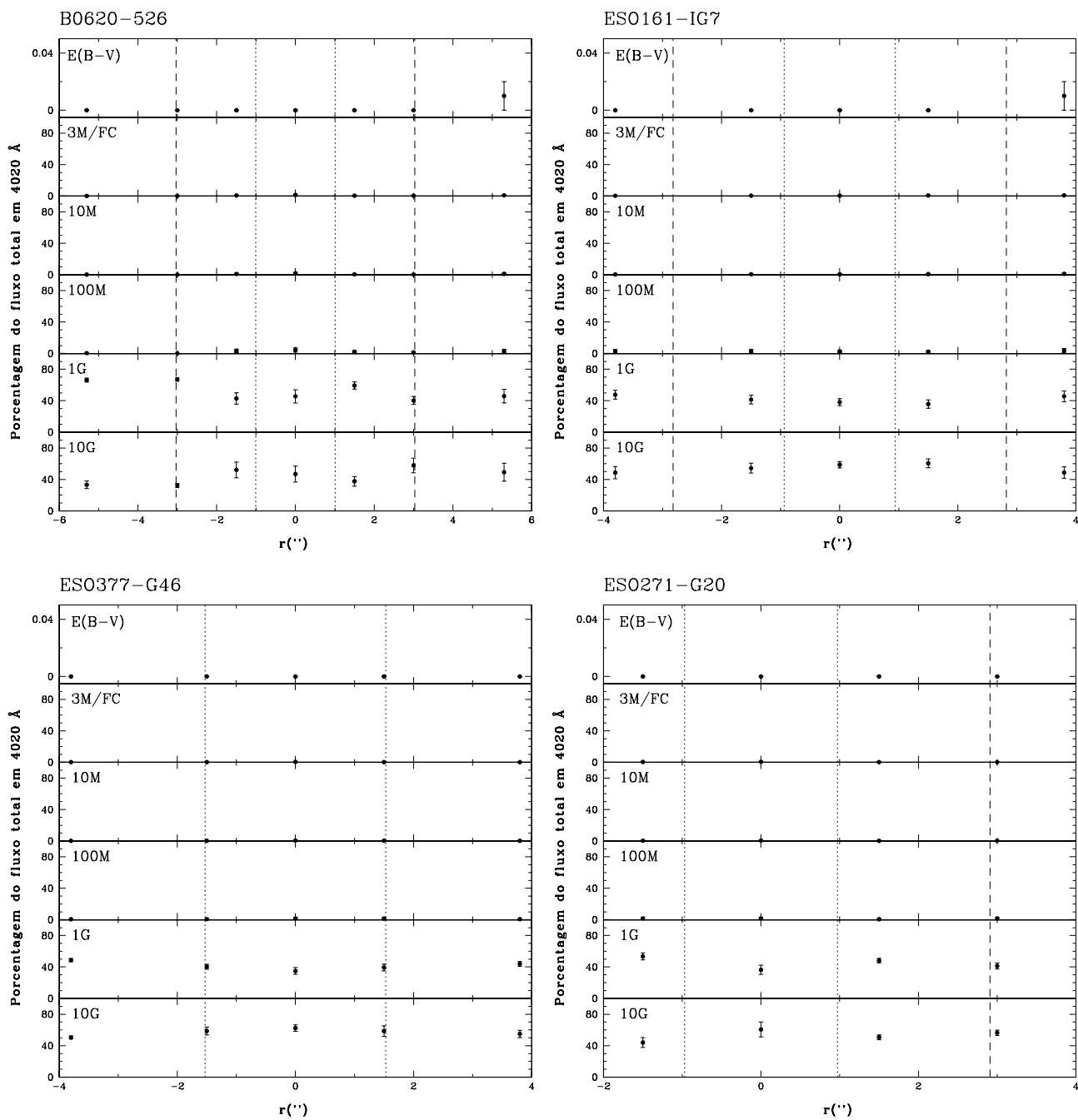


Fig. A.12: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

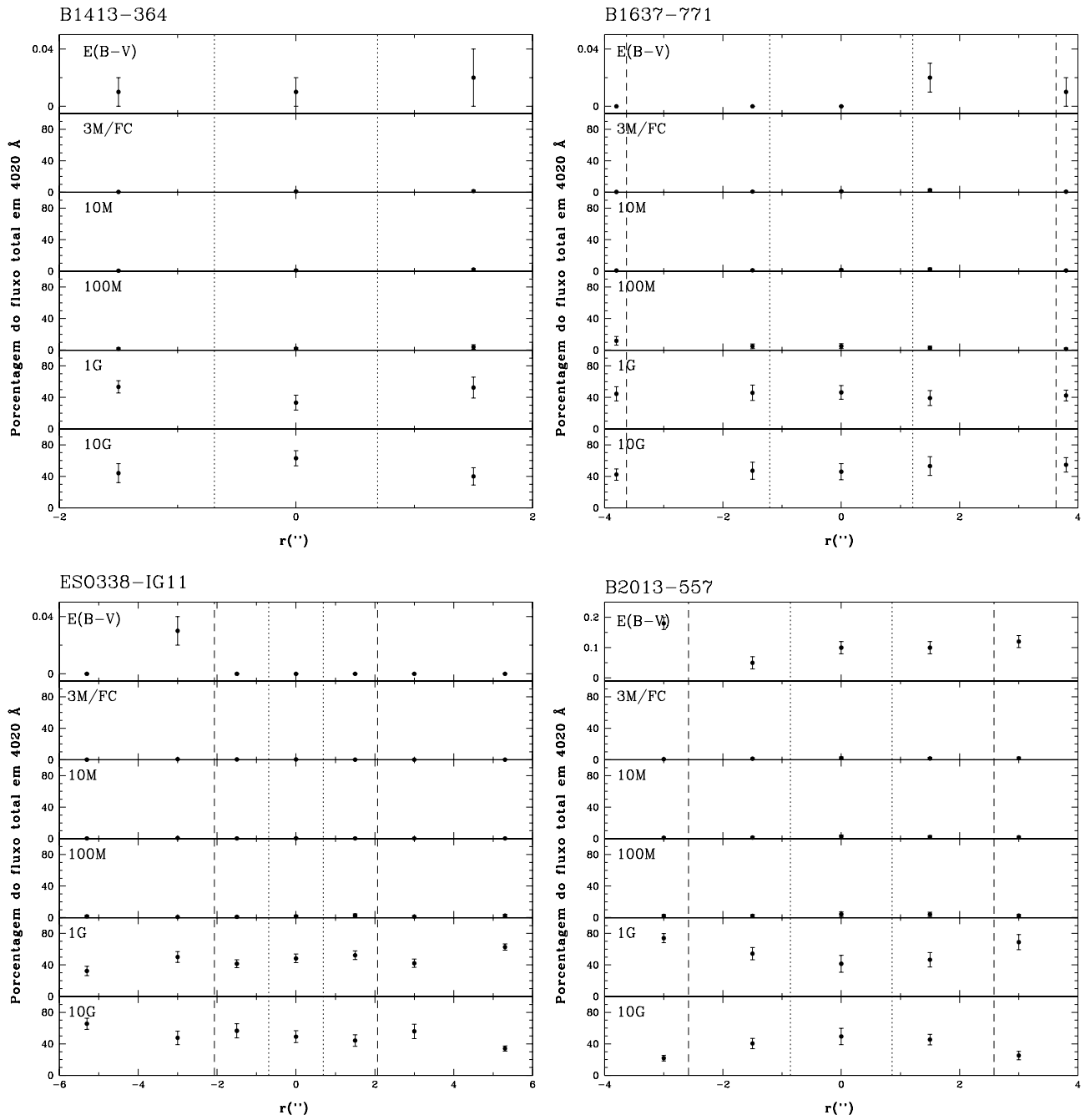


Fig. A.13: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

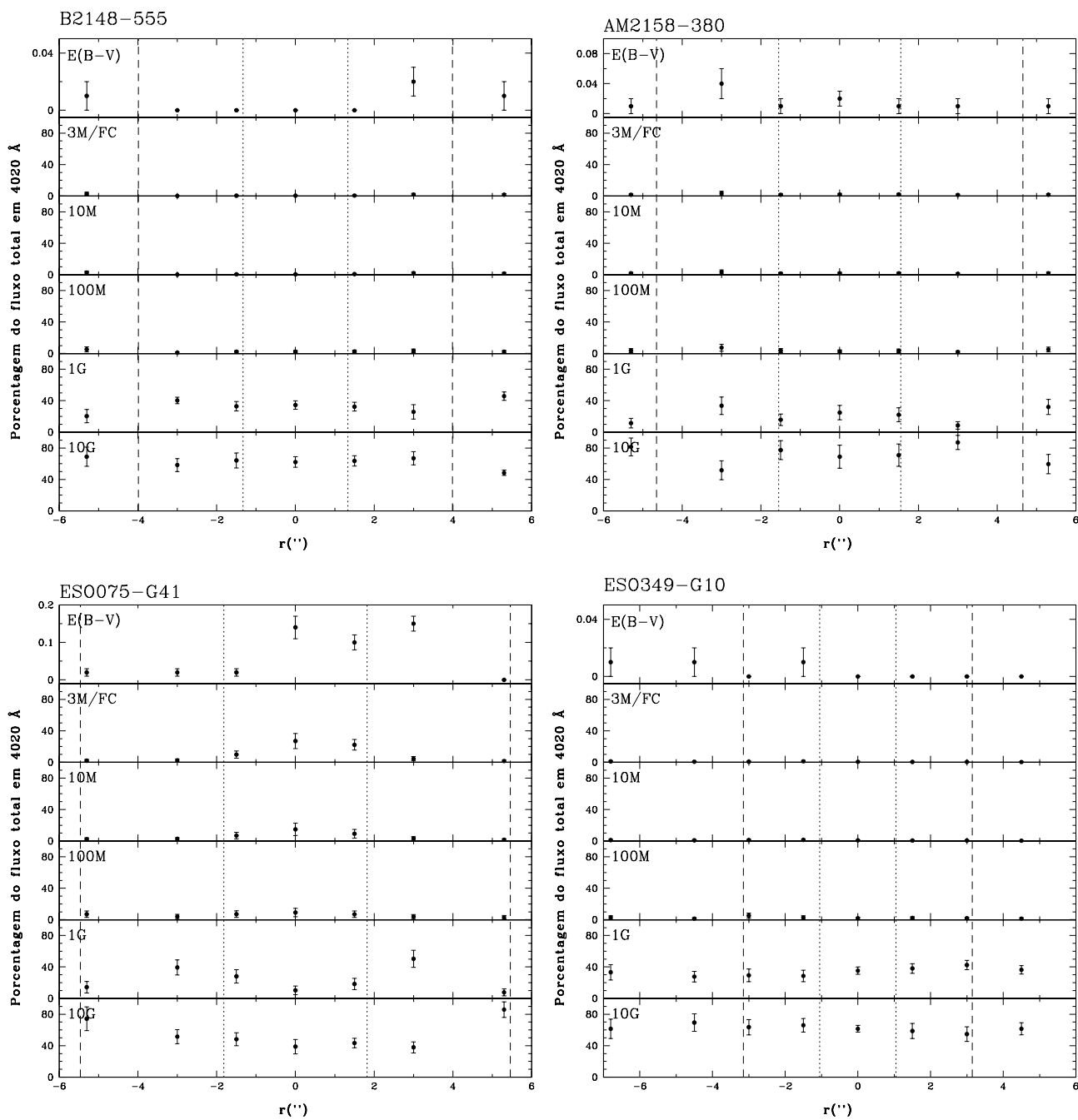


Fig. A.14: Rádio-galáxias: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

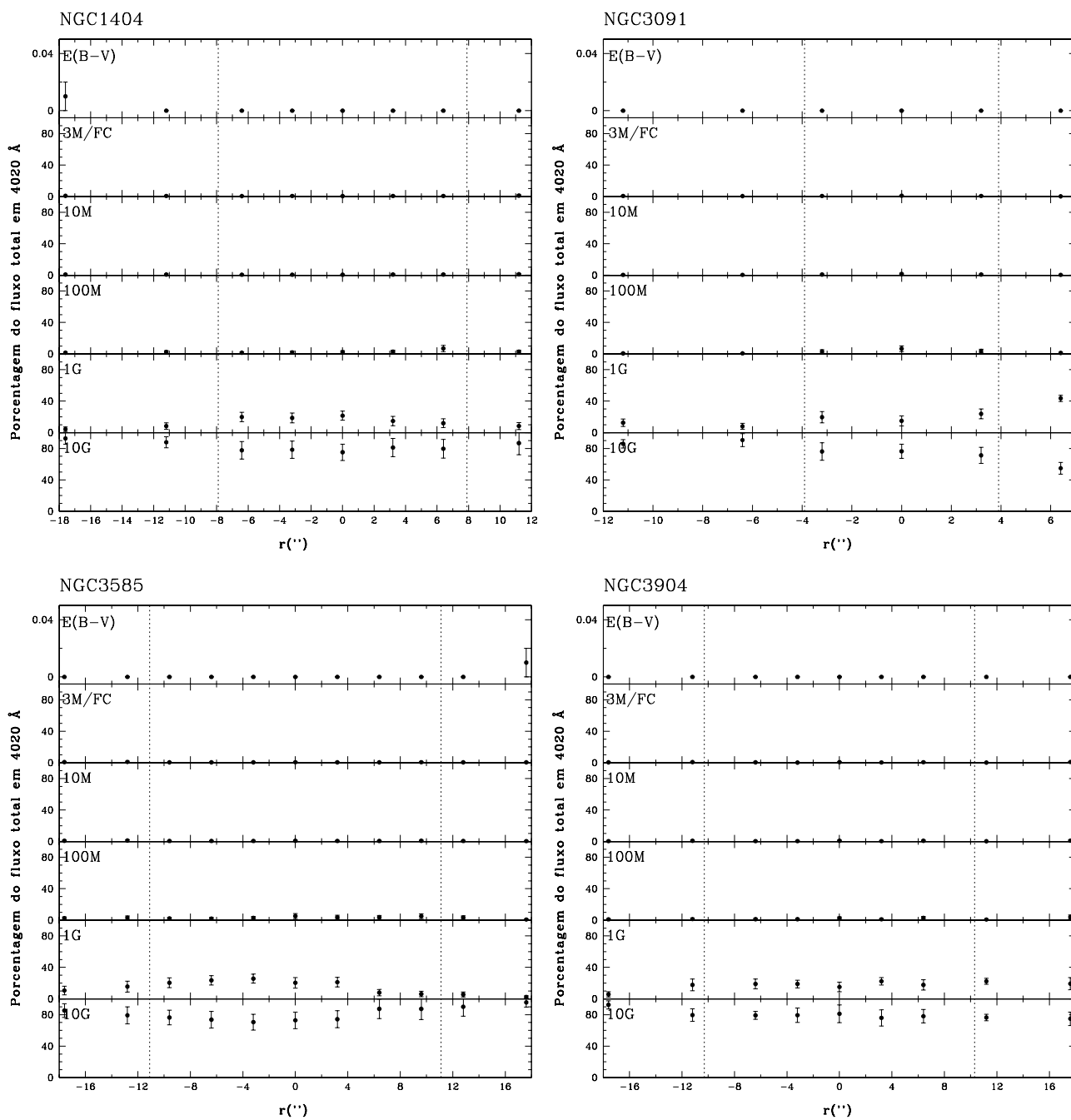


Fig. A.15: Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

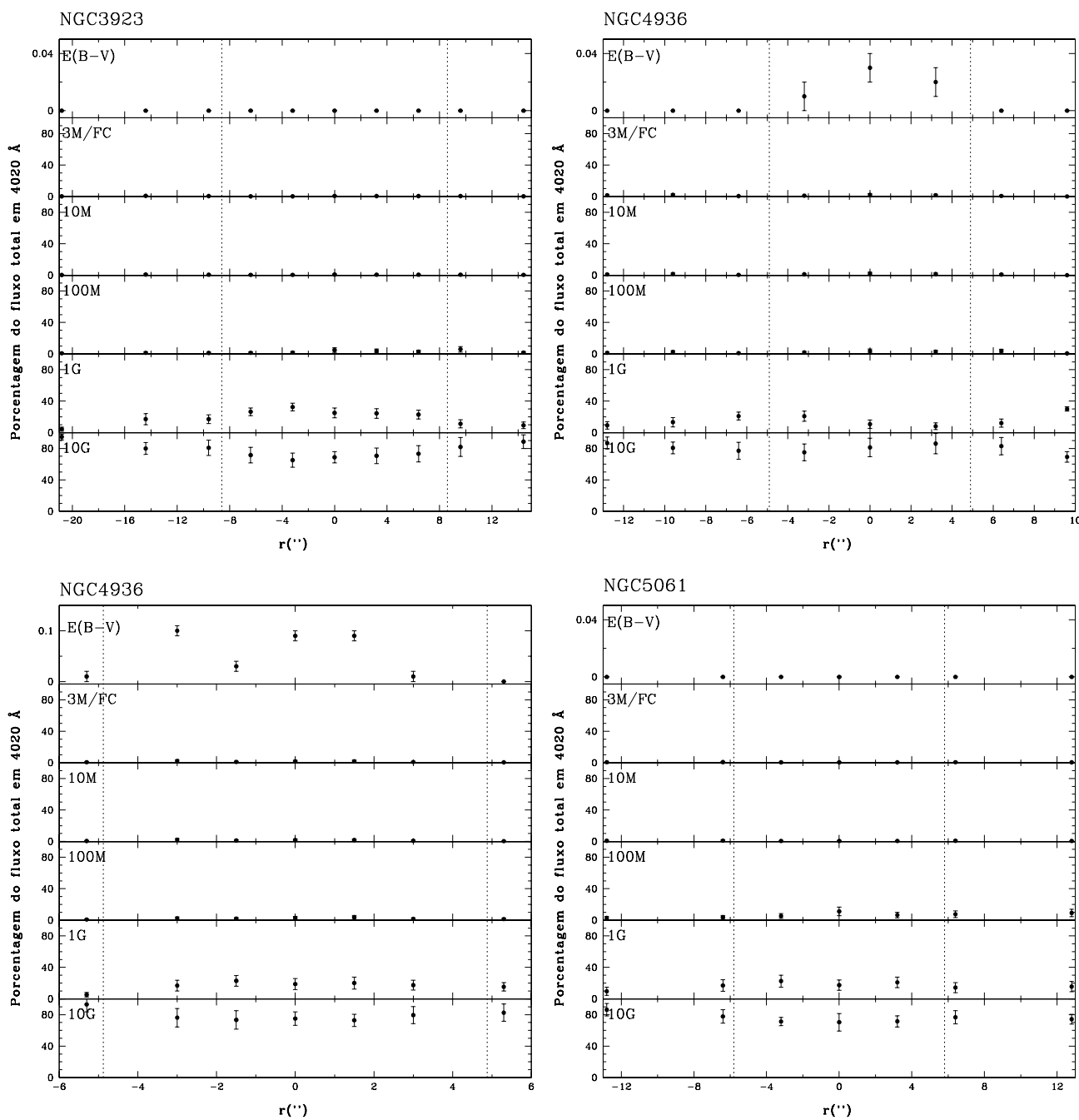


Fig. A.16: Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

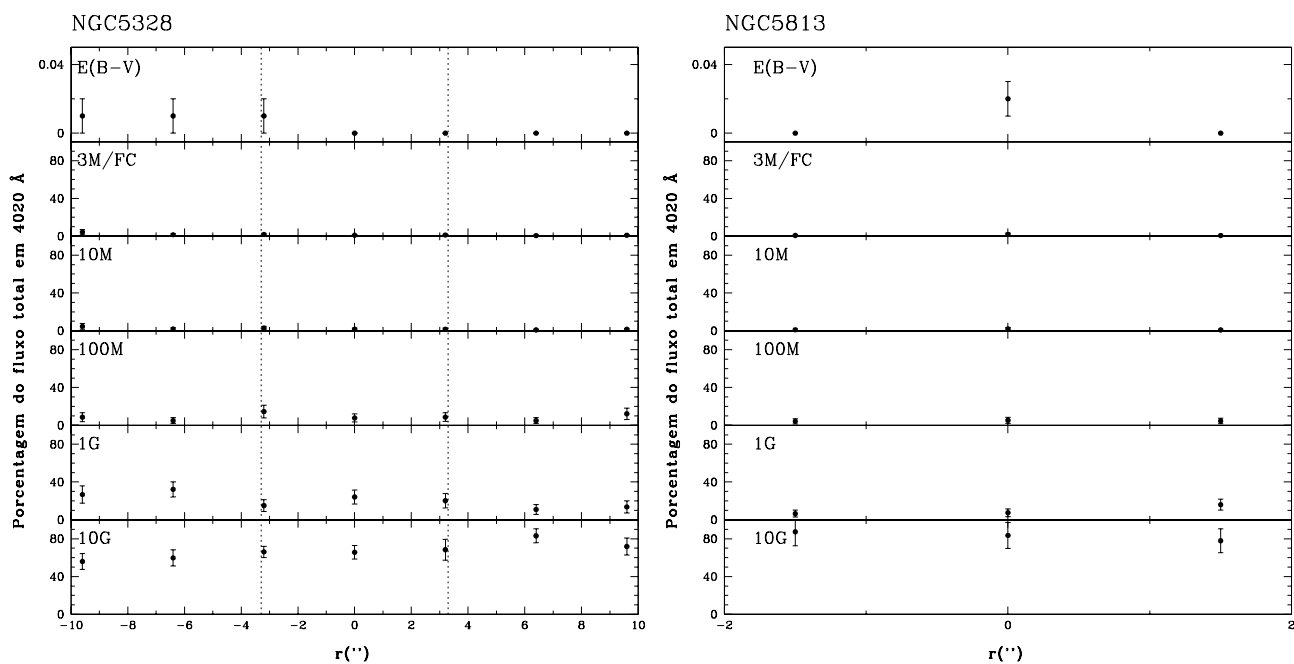


Fig. A.17: Galáxias elípticas não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

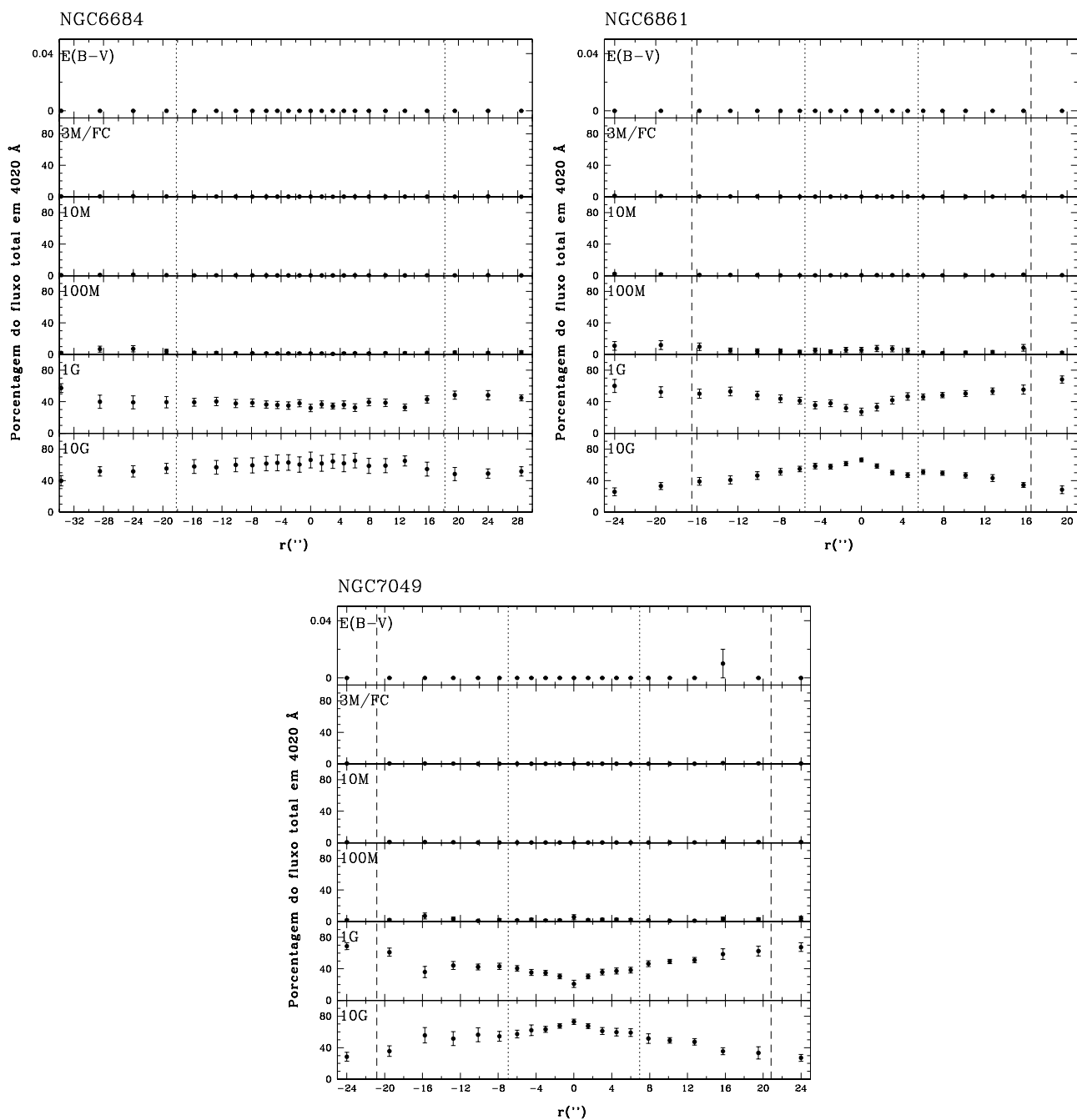


Fig. A.18: Galáxias lenticulares não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

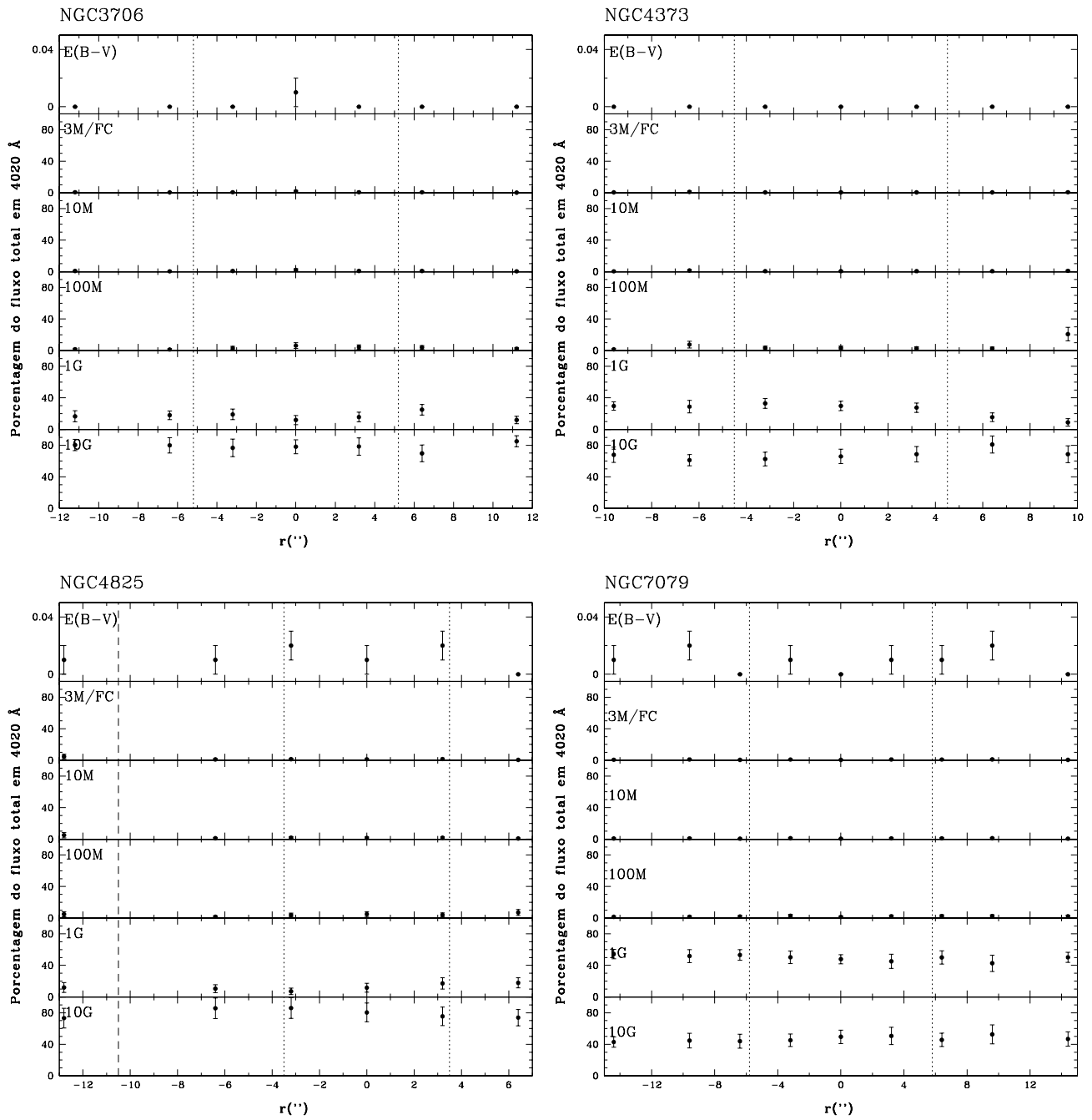


Fig. A.19: Galáxias lenticulares não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

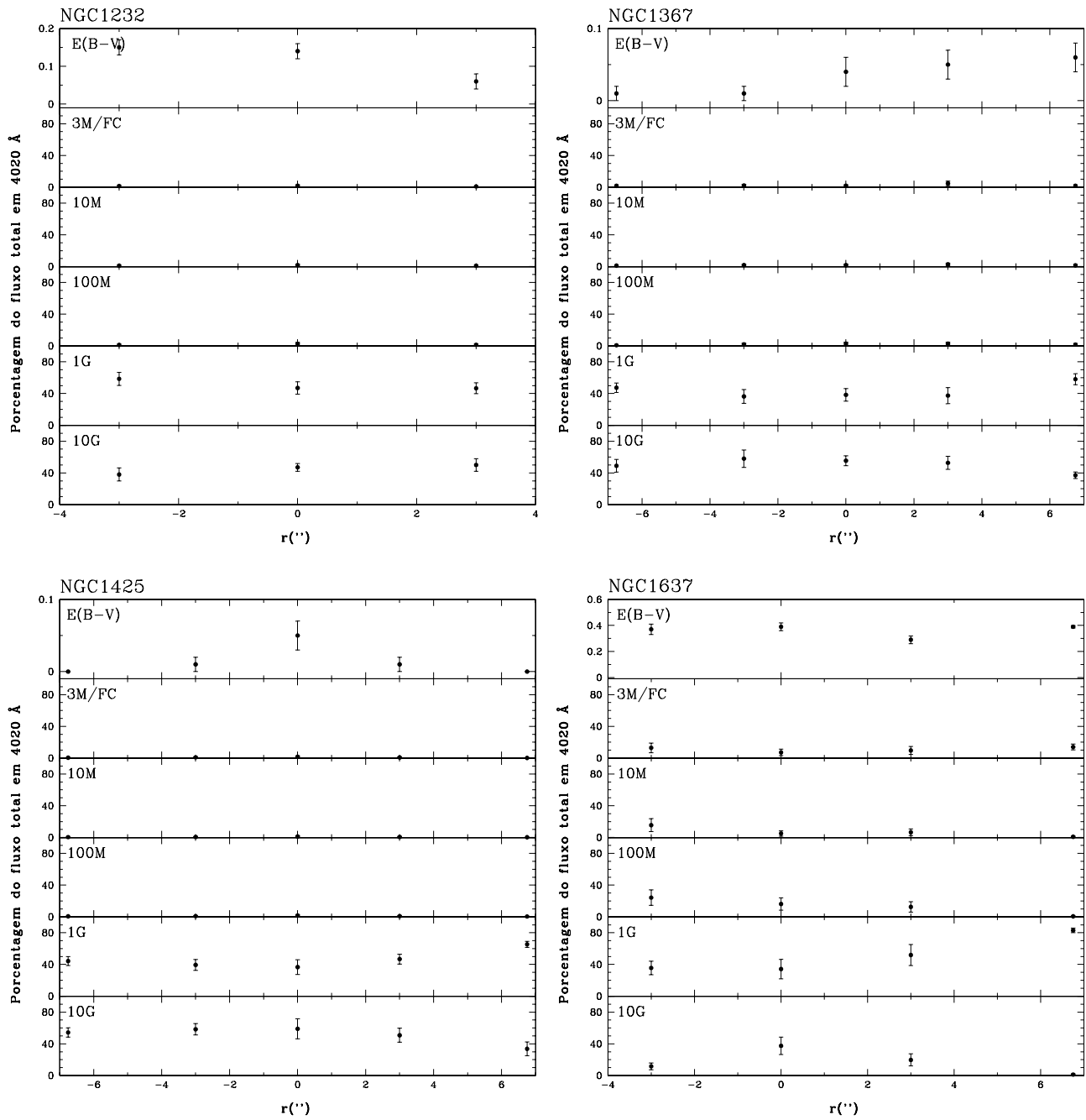


Fig. A.20: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

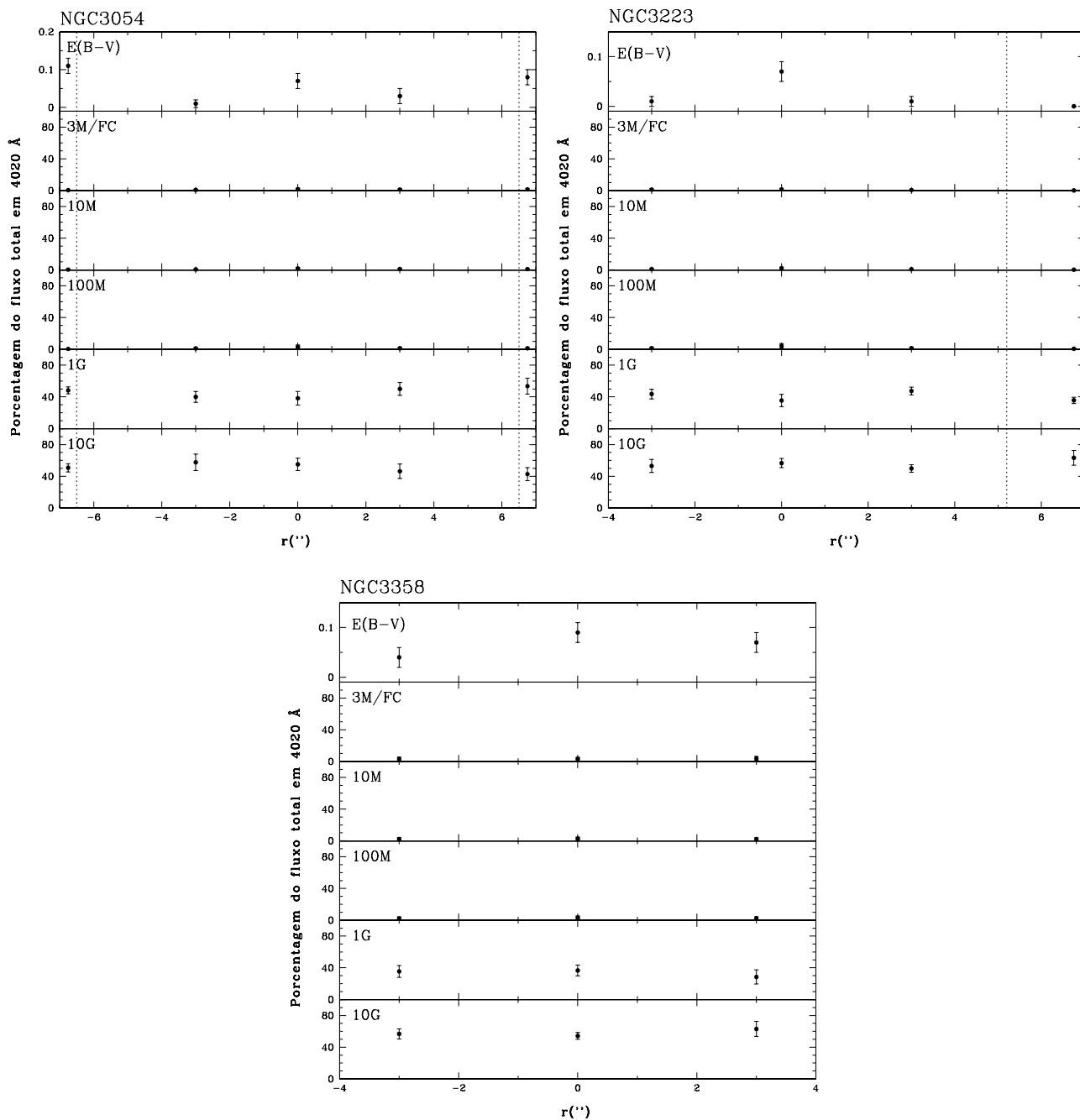


Fig. A.21: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

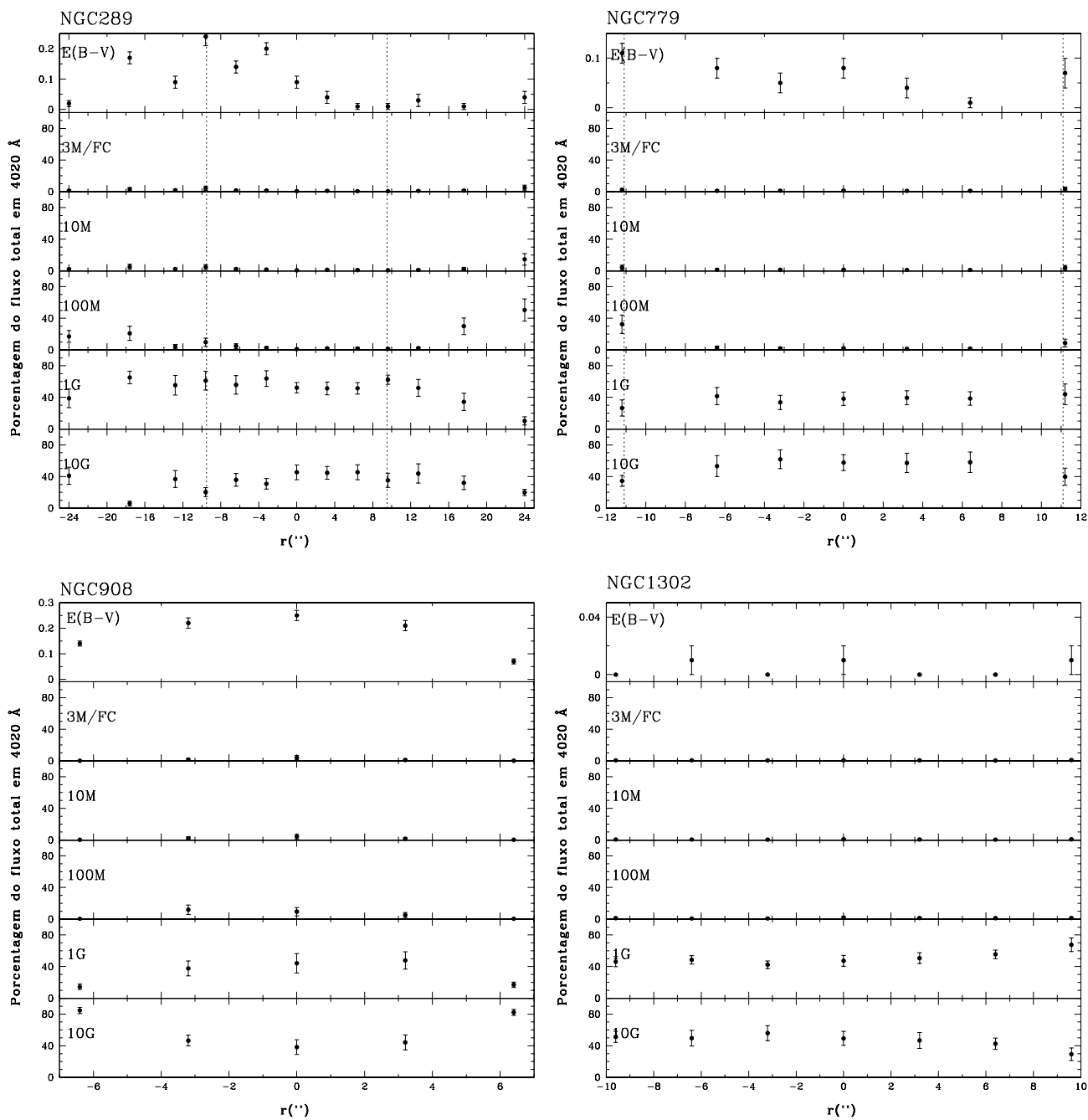


Fig. A.22: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

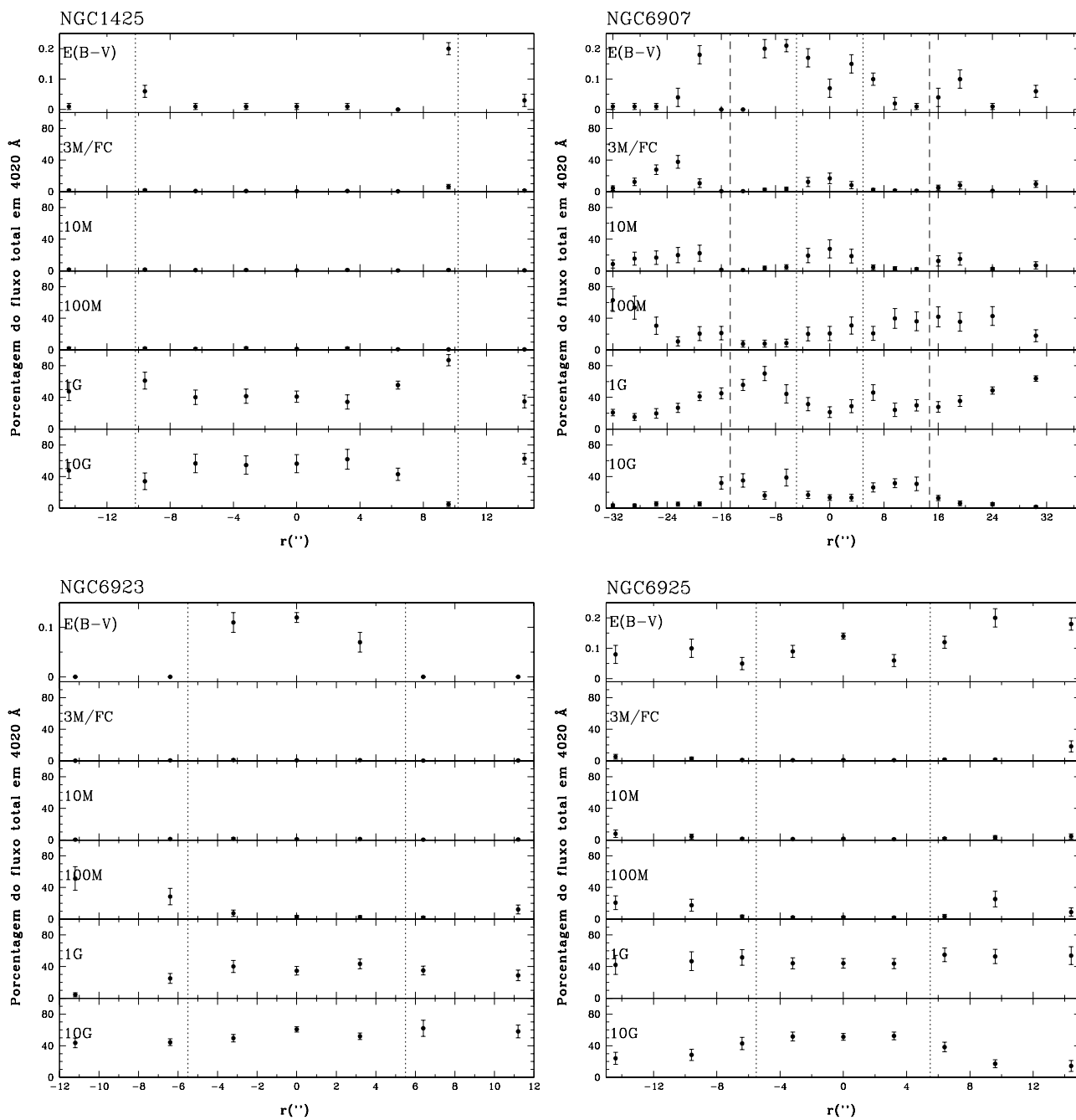


Fig. A.23: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

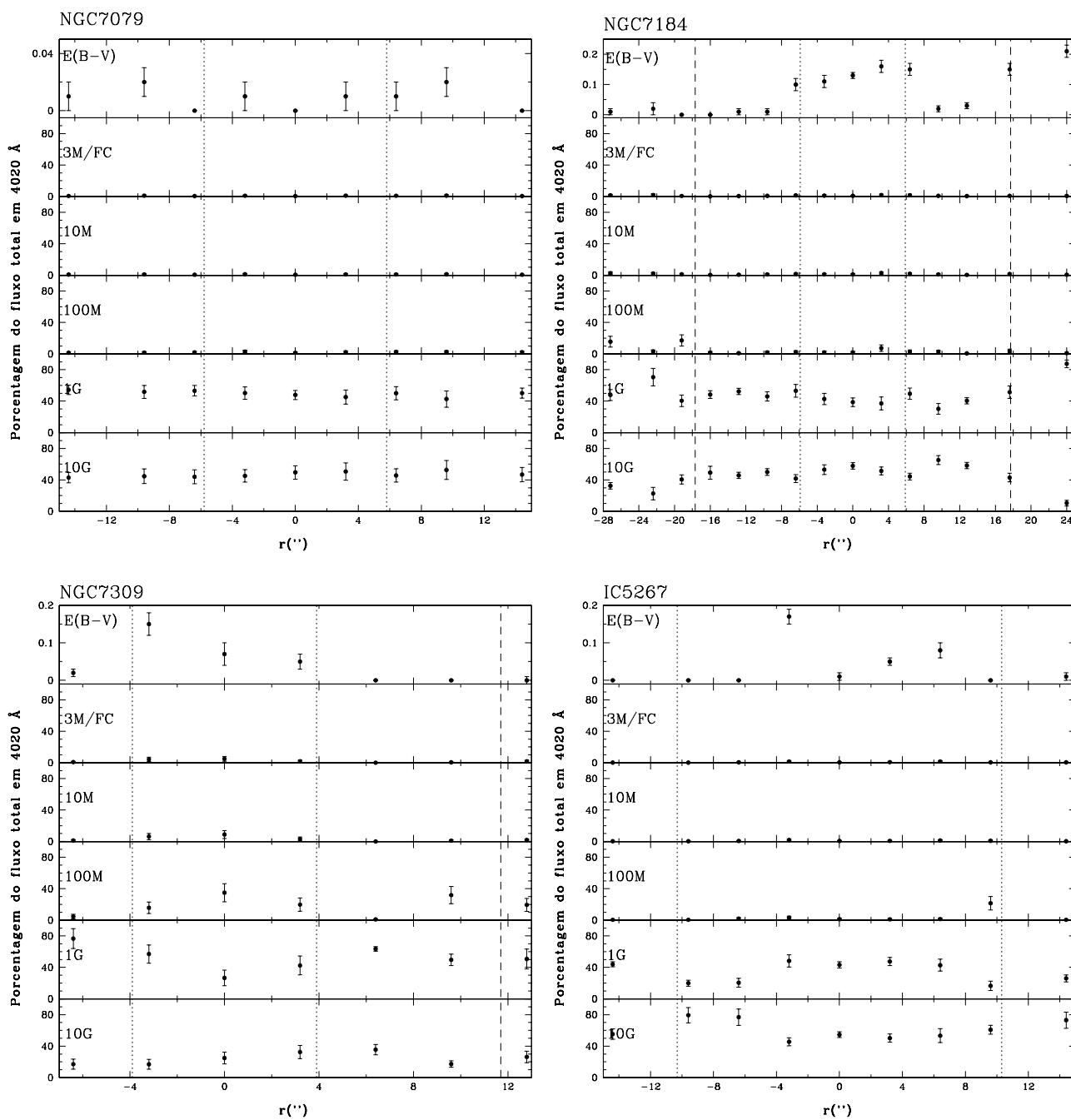


Fig. A.24: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

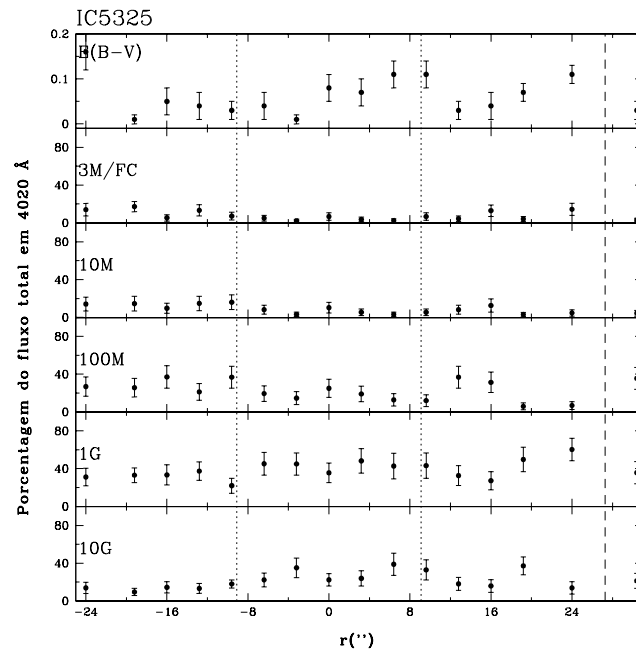


Fig. A.25: Galáxias espirais não ativas: resultados da síntese no mesmo formato da Fig.5.1.

Apêndice B

Espectros sintéticos e originais corrigidos por avermelhamento

Neste apêndice são apresentados os espectros nucleares sintéticos, obtidos a partir dos resultados da síntese utilizando o método de síntese espectral de populações estelares, e os espectros nucleares originais corrigidos por avermelhamento interno e de nossa galáxia, das galáxias ativas não apresentadas no Capítulo 5.

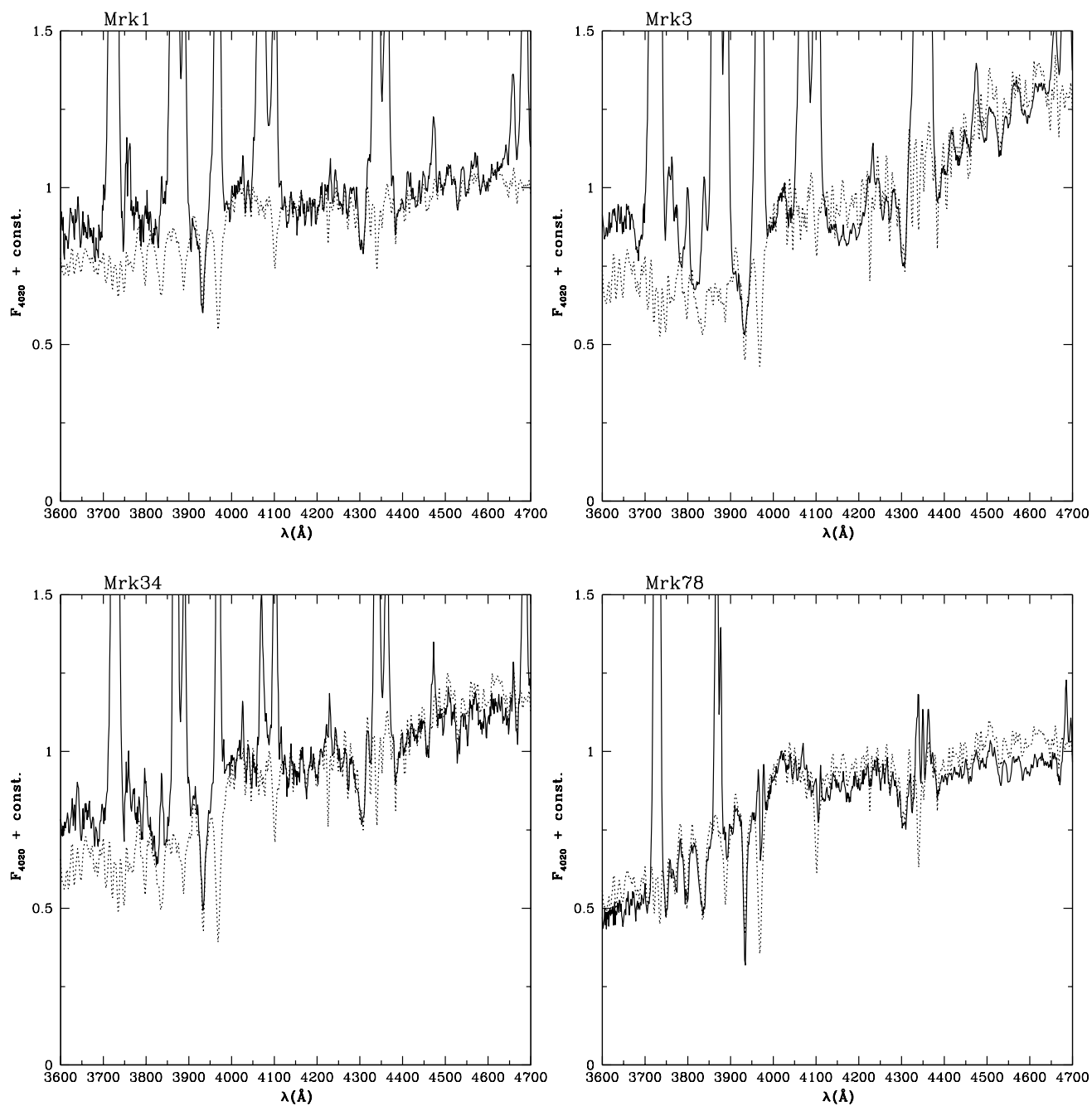


Fig. B.1: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

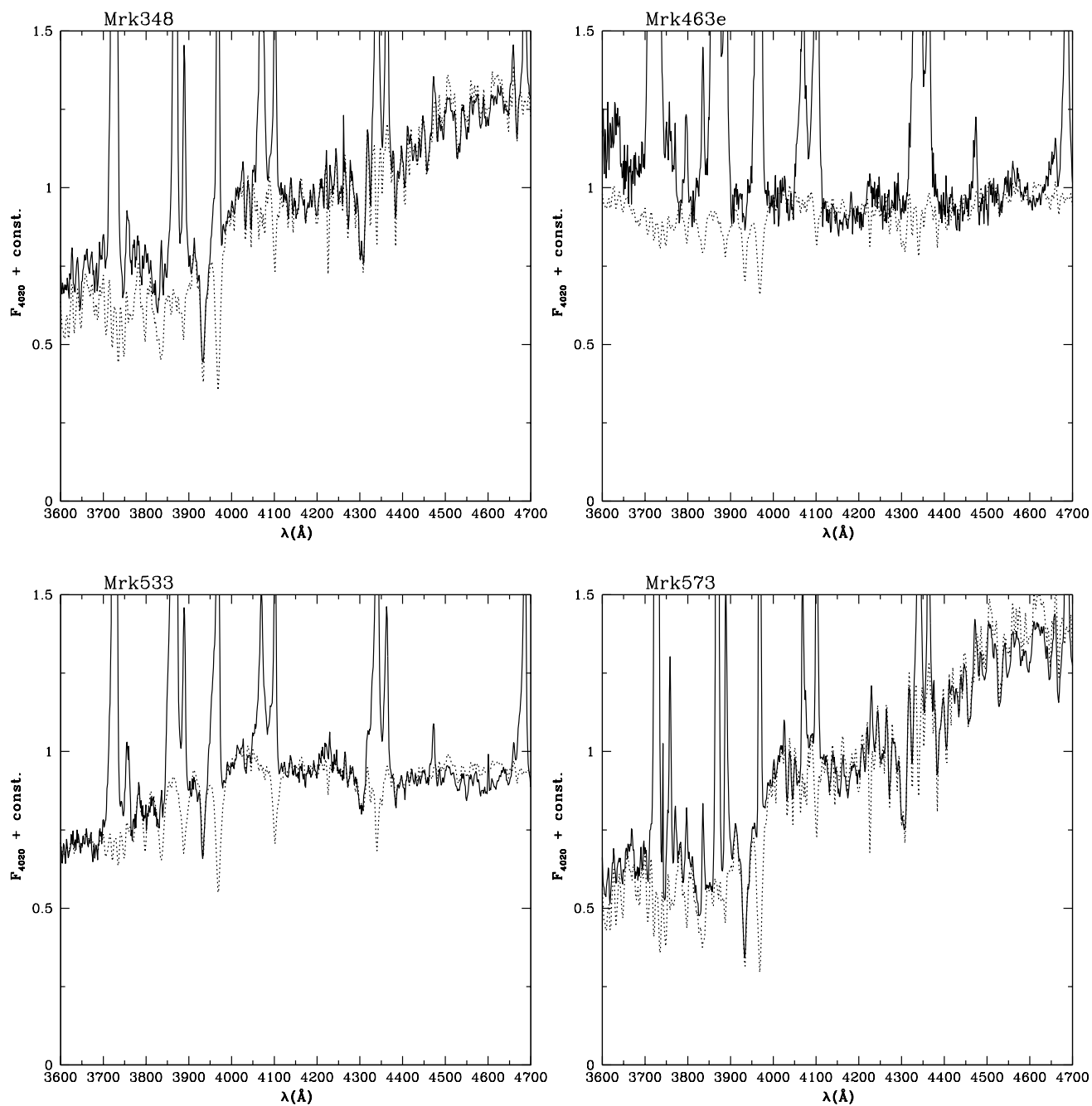


Fig. B.2: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

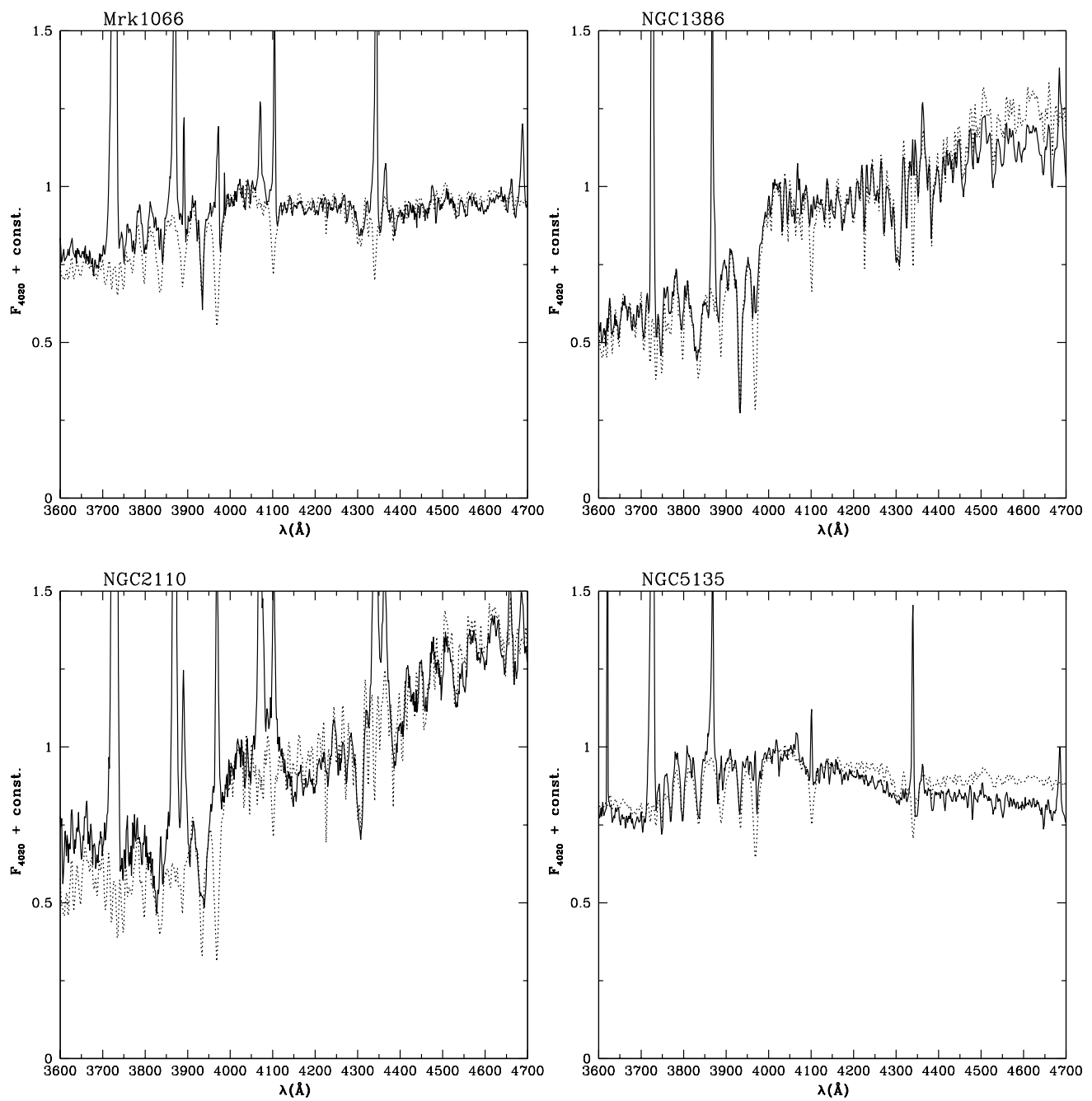


Fig. B.3: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): espectros no mesmo formato da Fig.5.3.

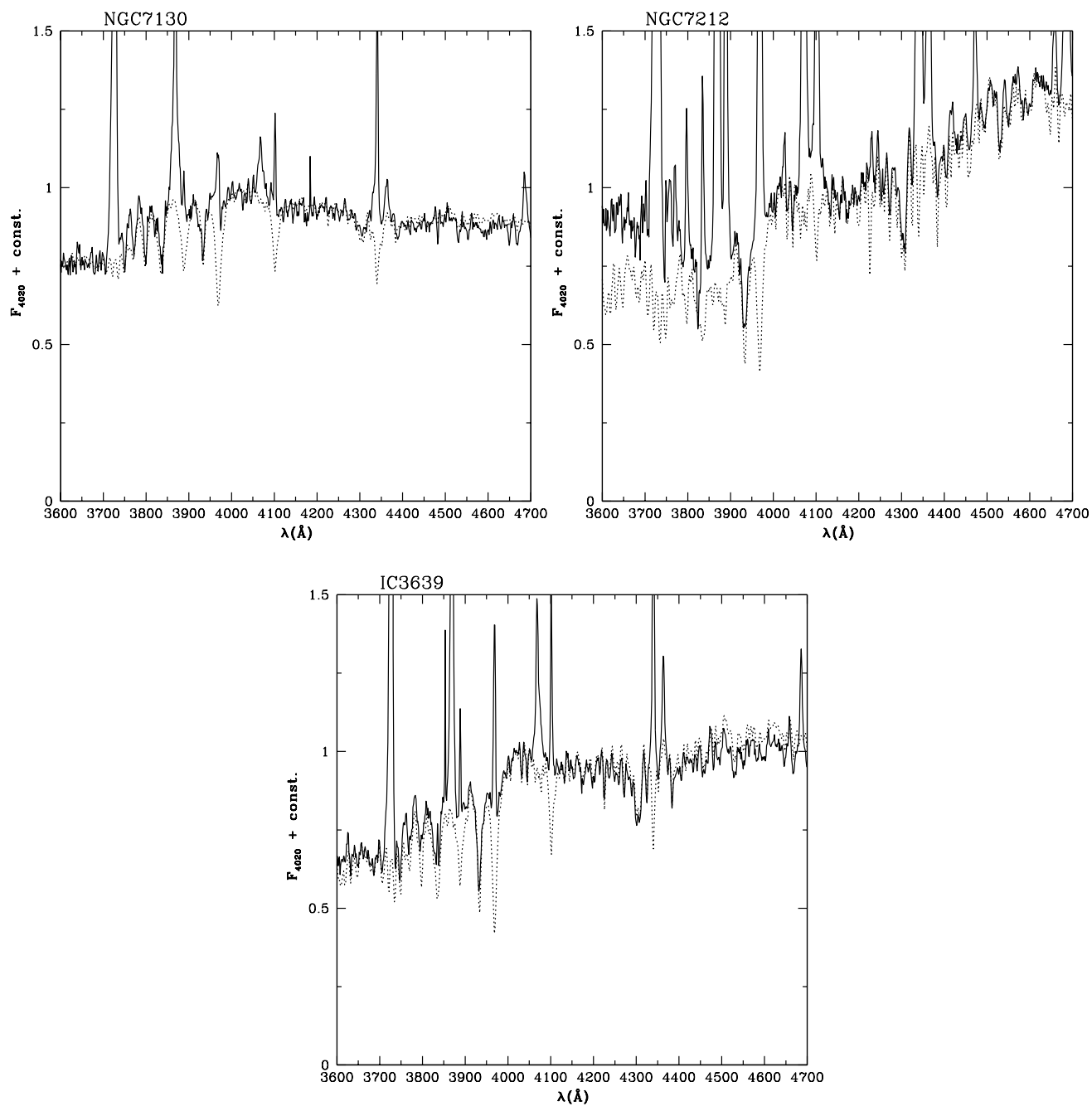


Fig. B.4: Galáxias Seyfert 2 (KNPO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

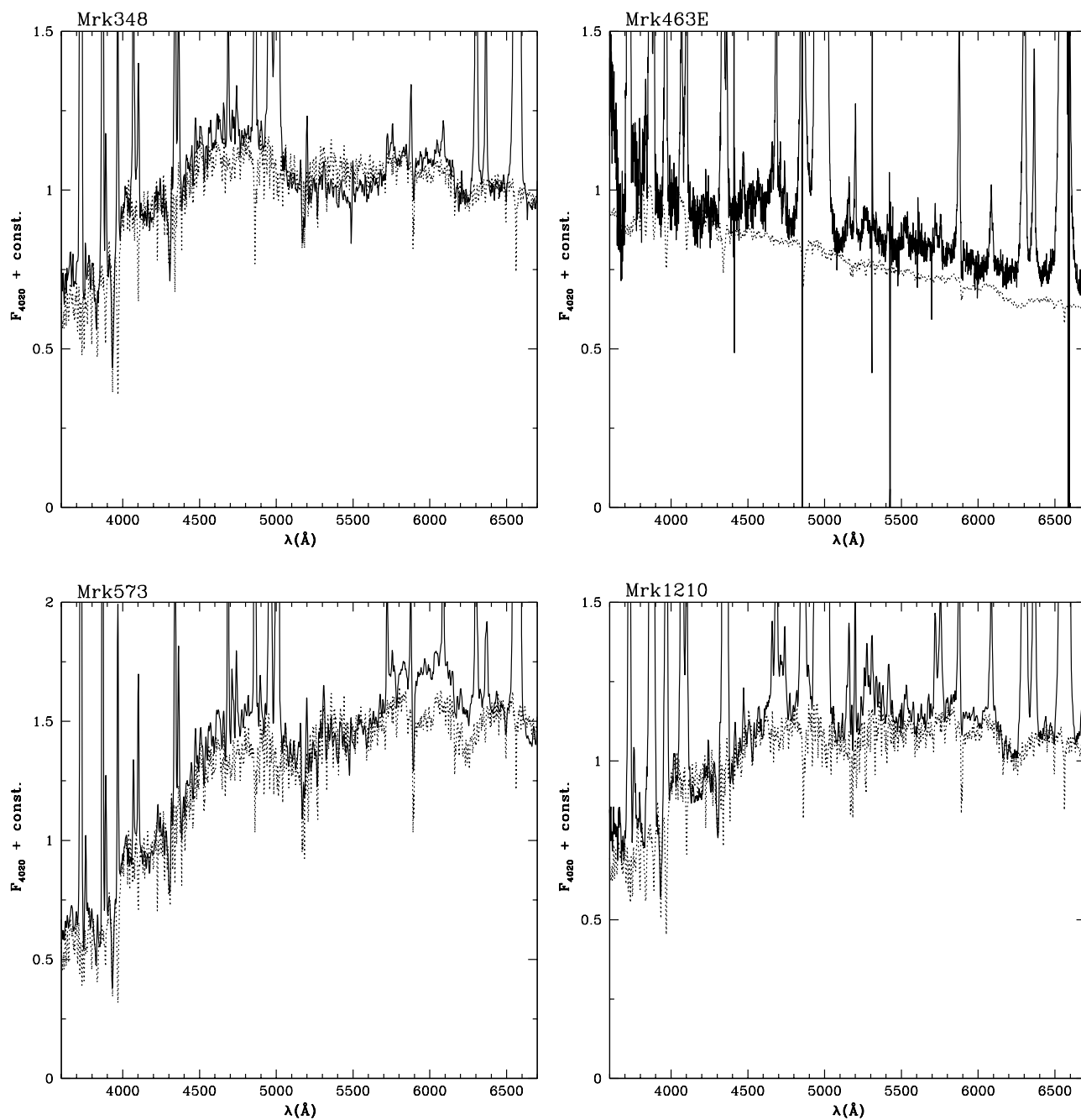


Fig. B.5: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

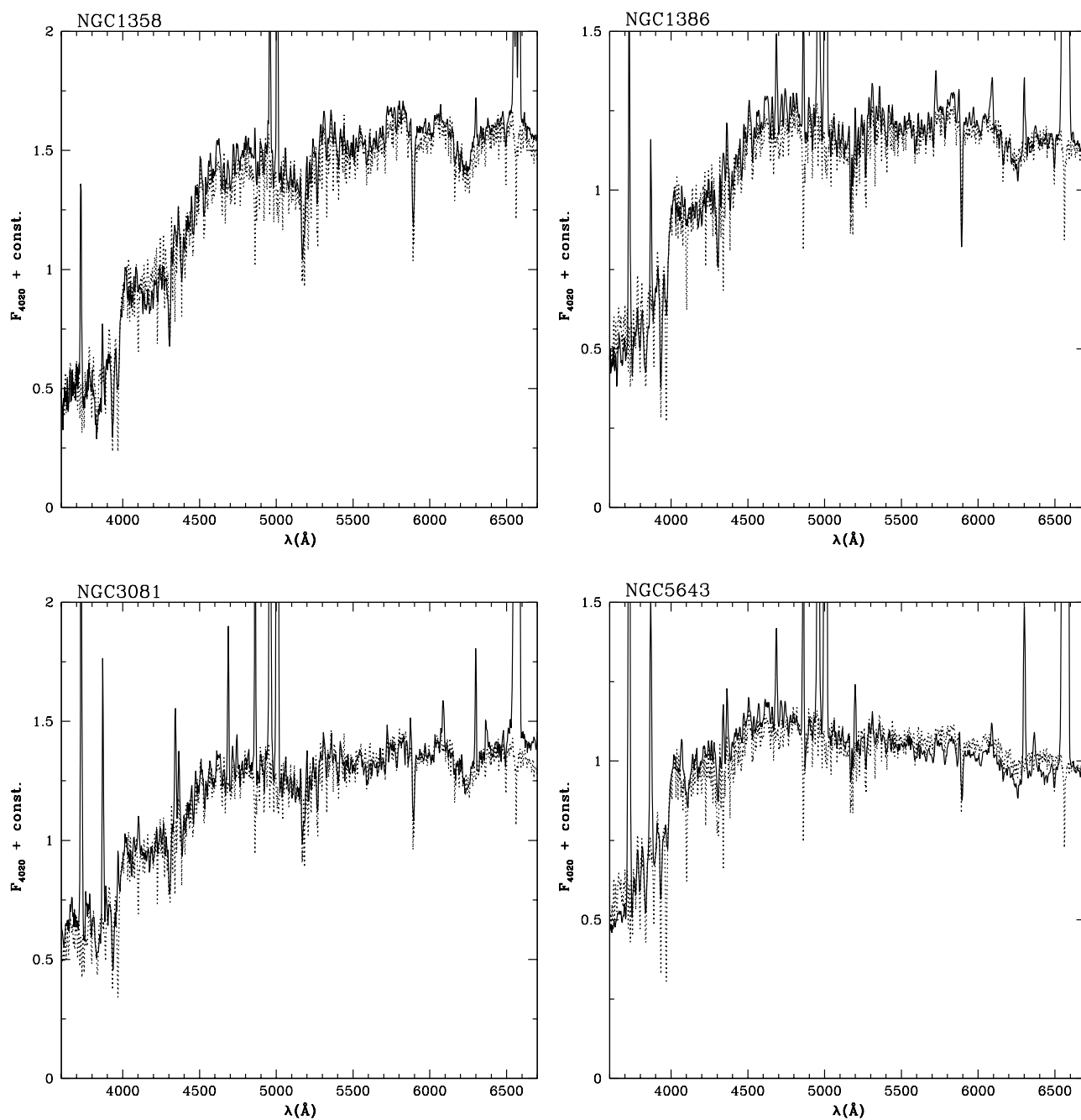


Fig. B.6: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

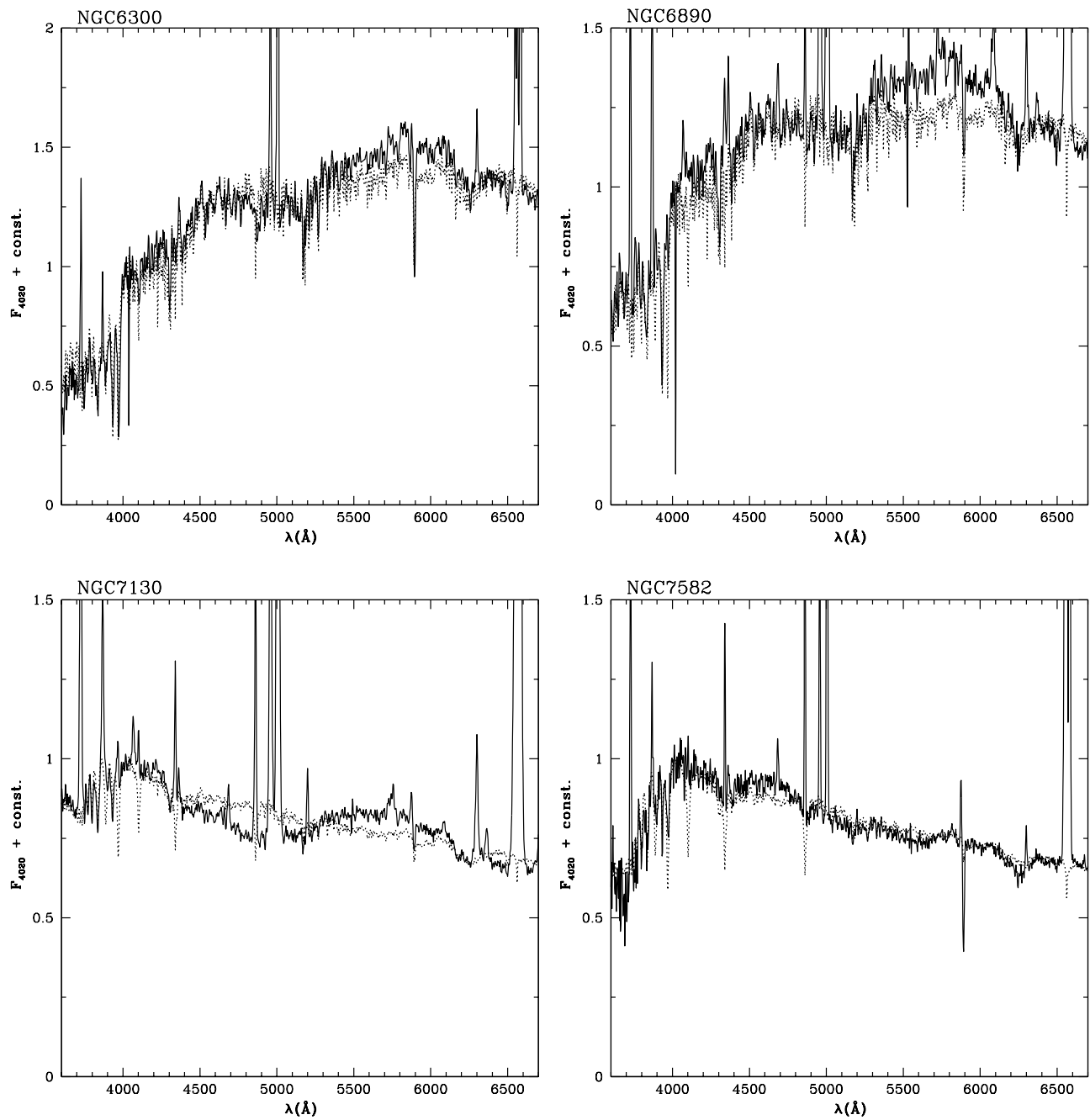


Fig. B.7: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

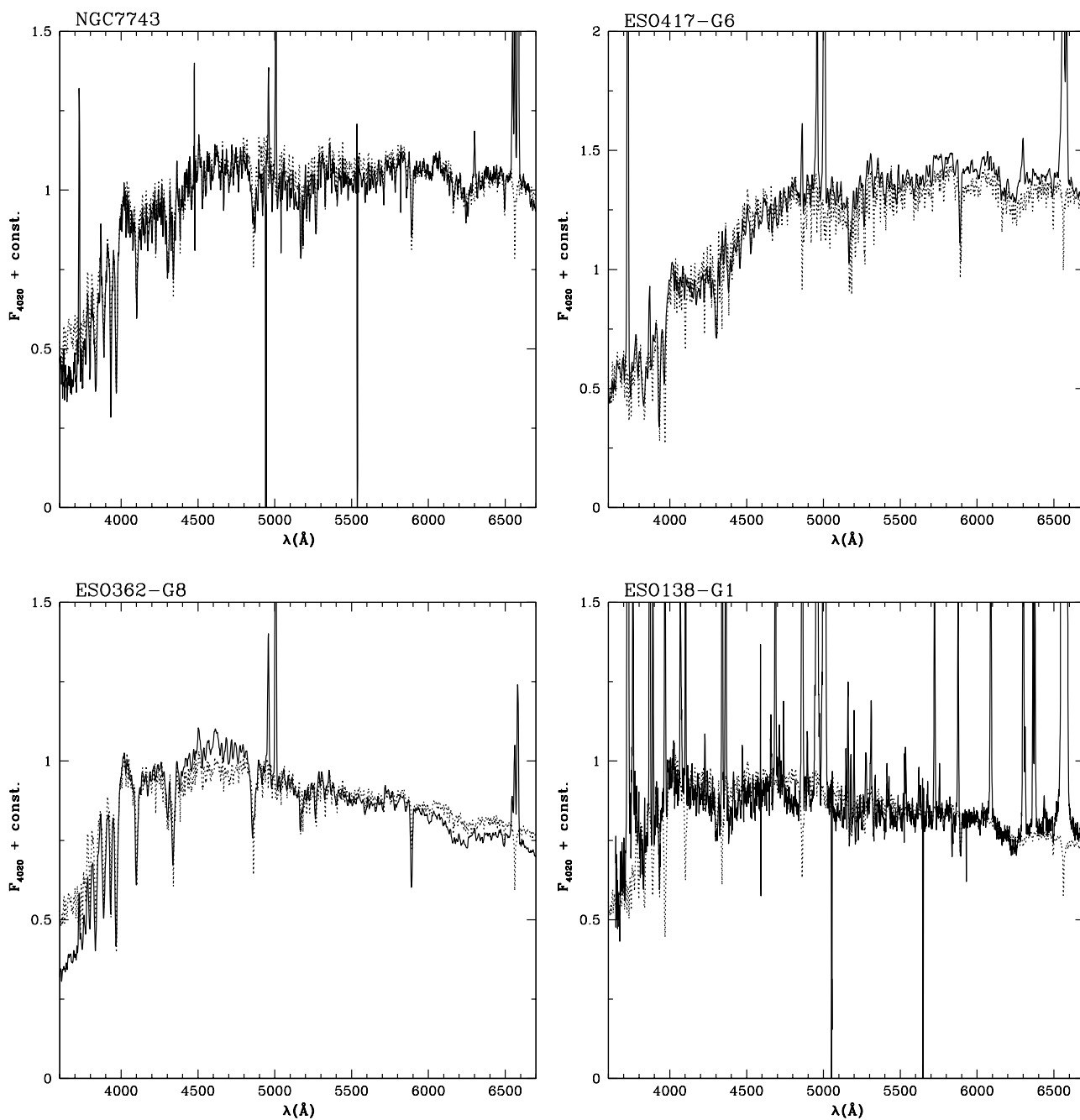


Fig. B.8: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

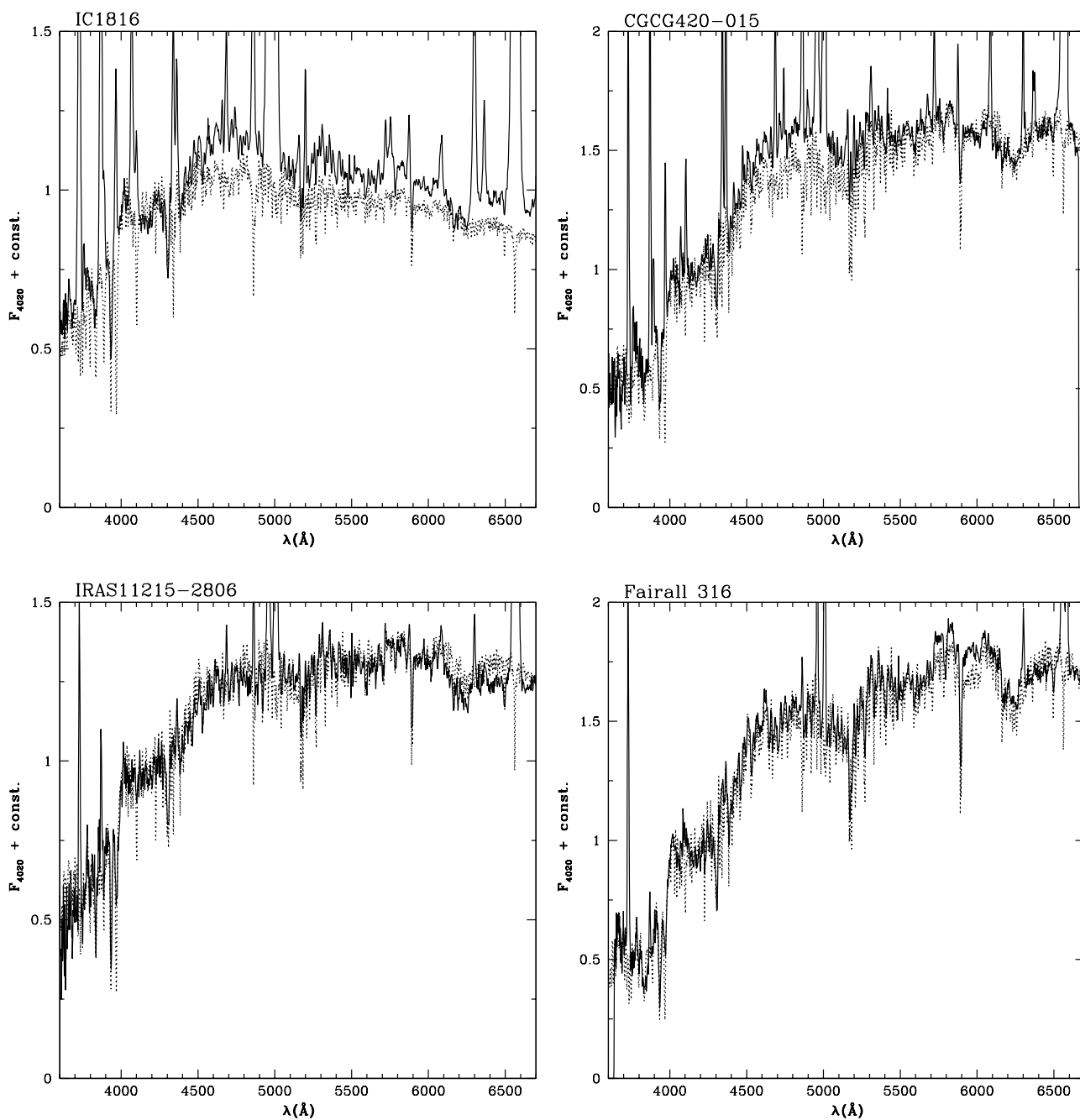


Fig. B.9: Galáxias Seyfert 2 (CTIO): *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

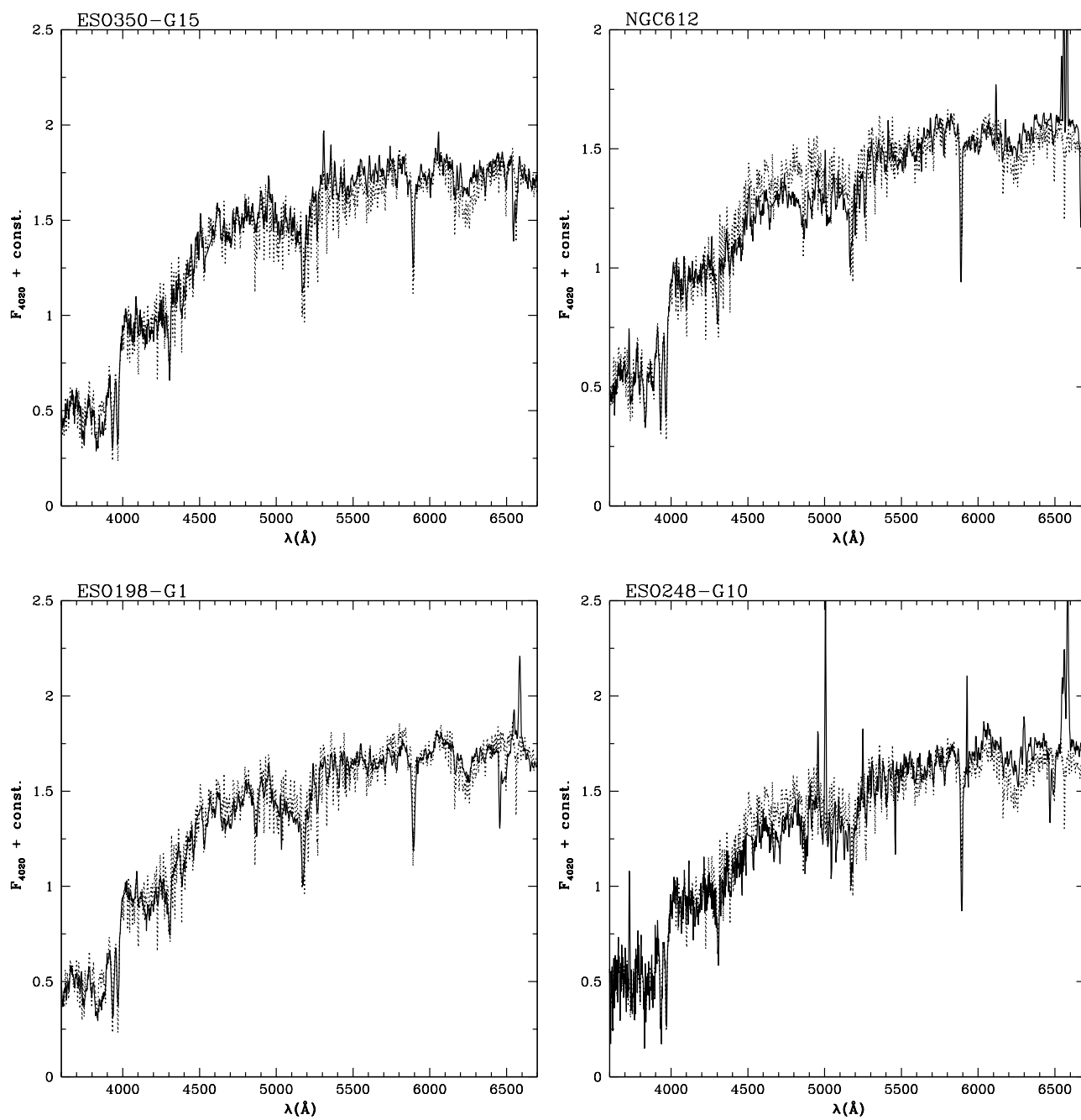


Fig. B.10: Rádio-galáxias: *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

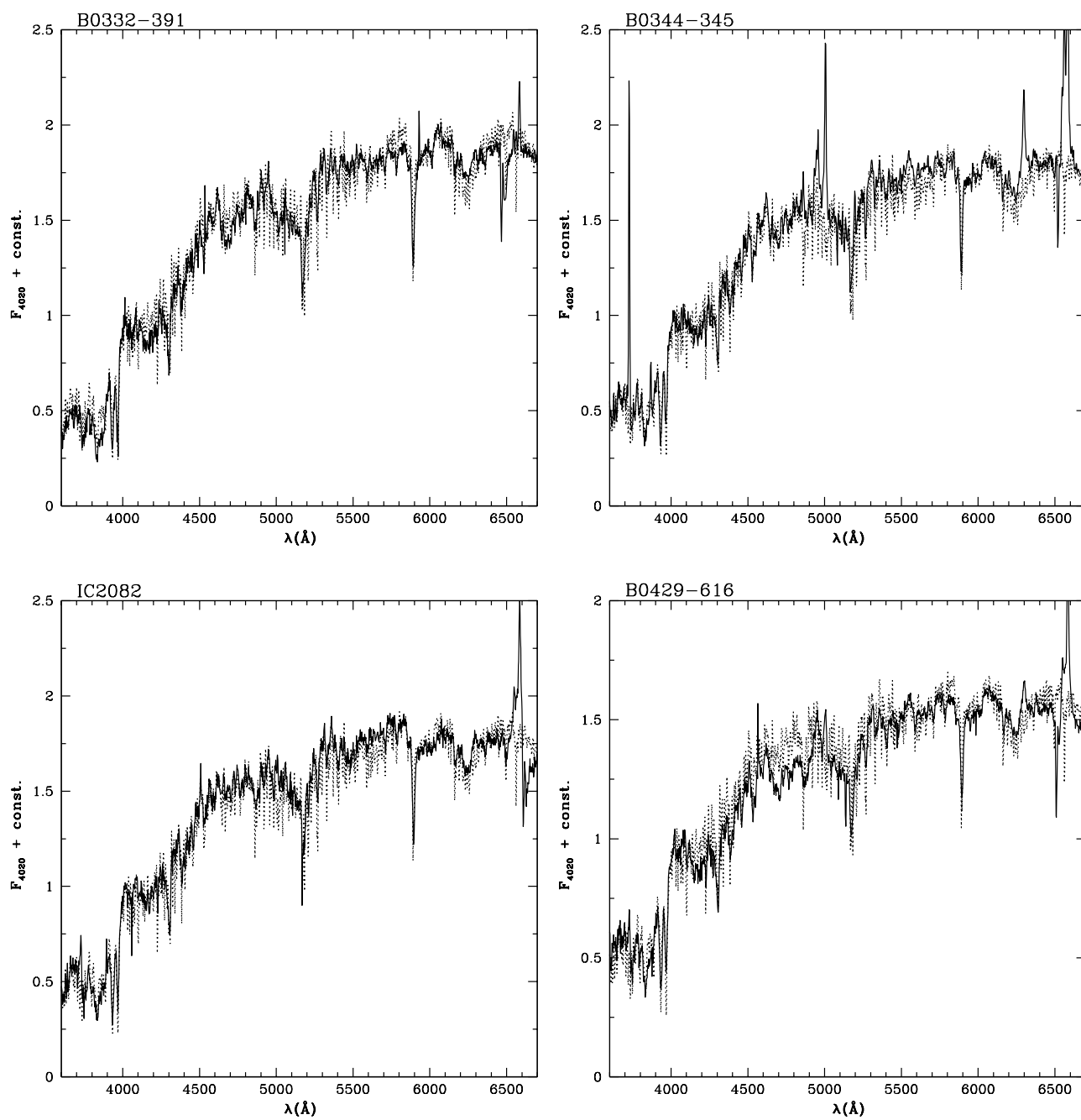


Fig. B.11: Rádio-galáxias: *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

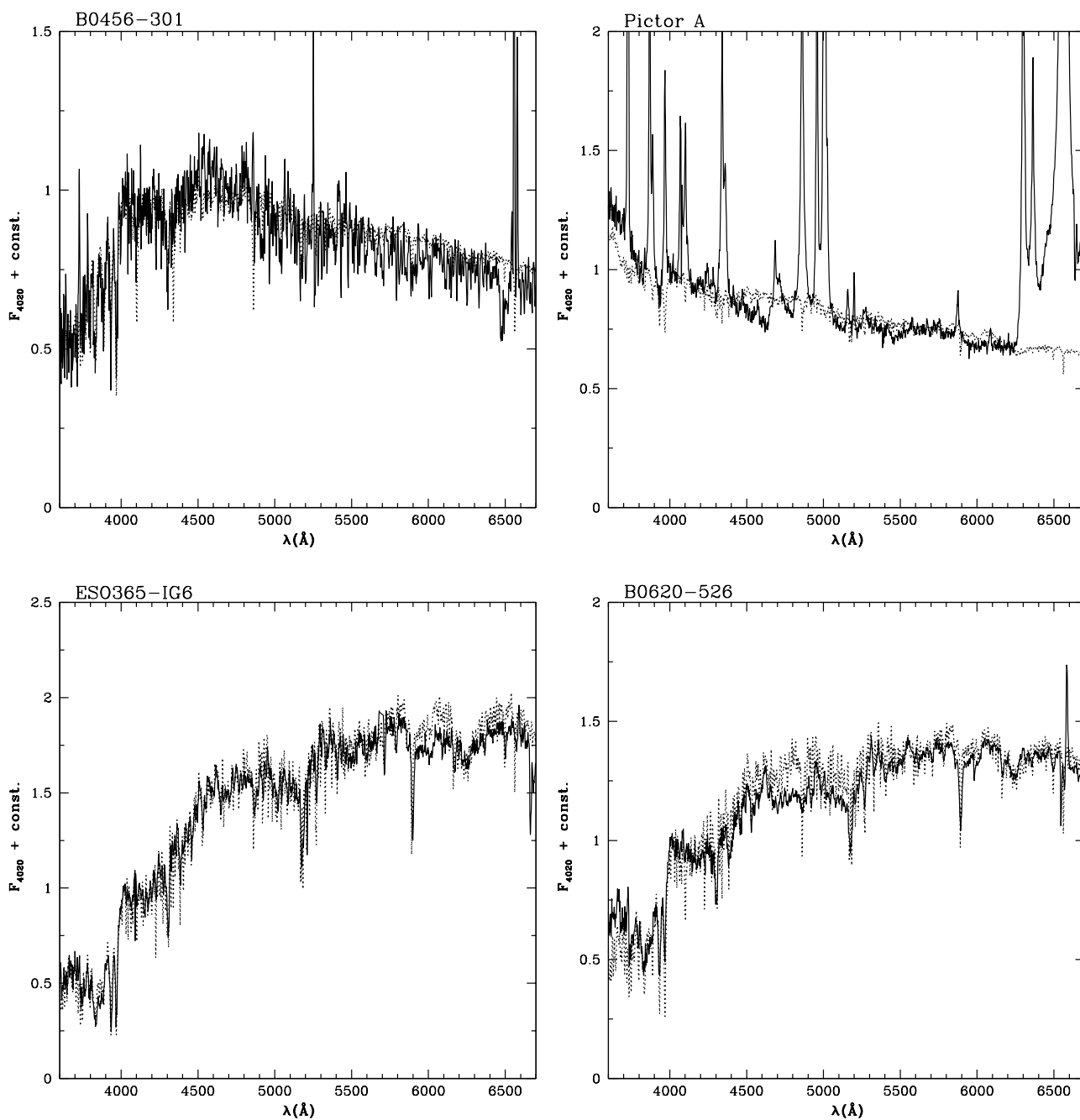


Fig. B.12: Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.

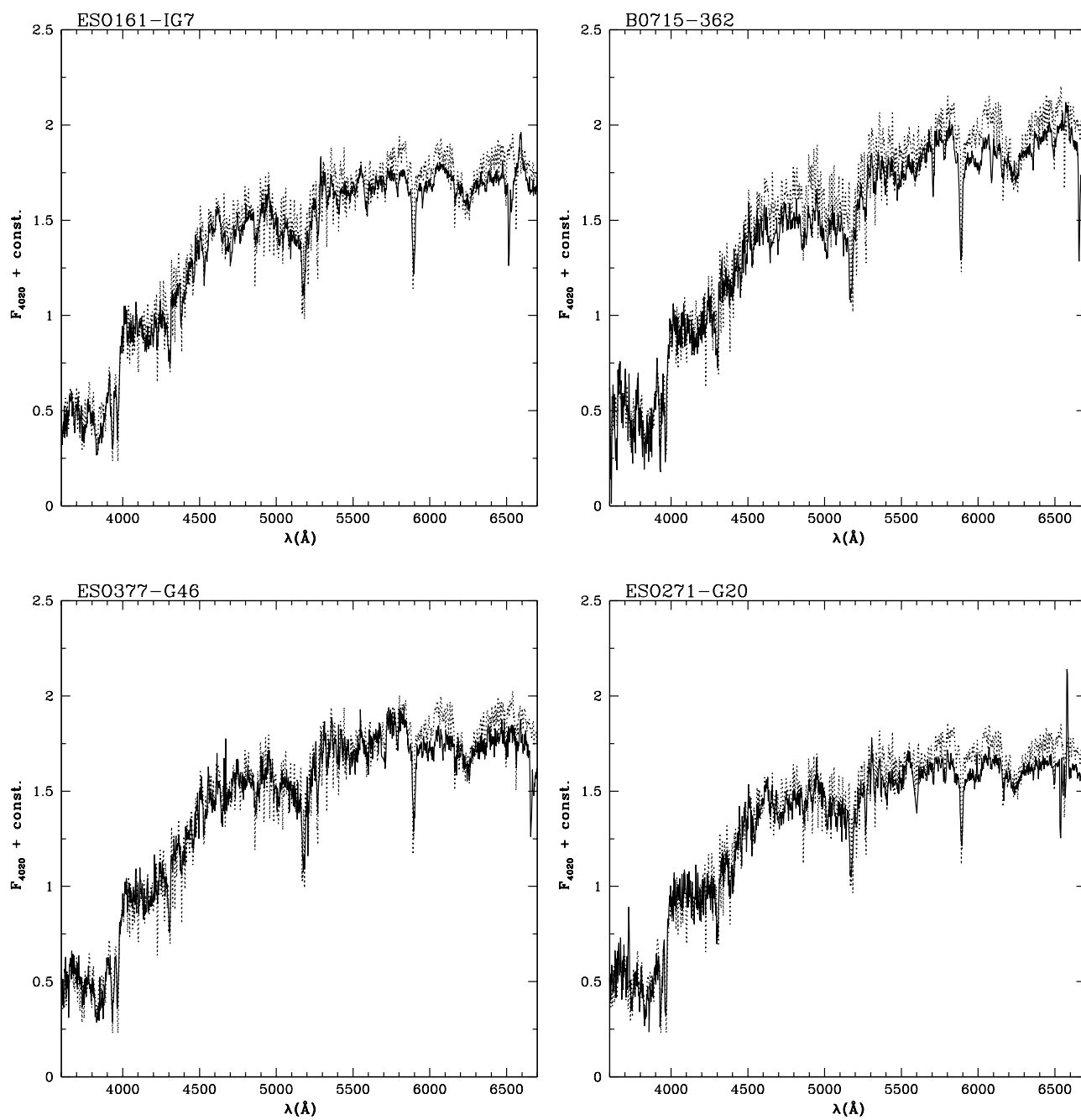


Fig. B.13: Rádio-galáxias: *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

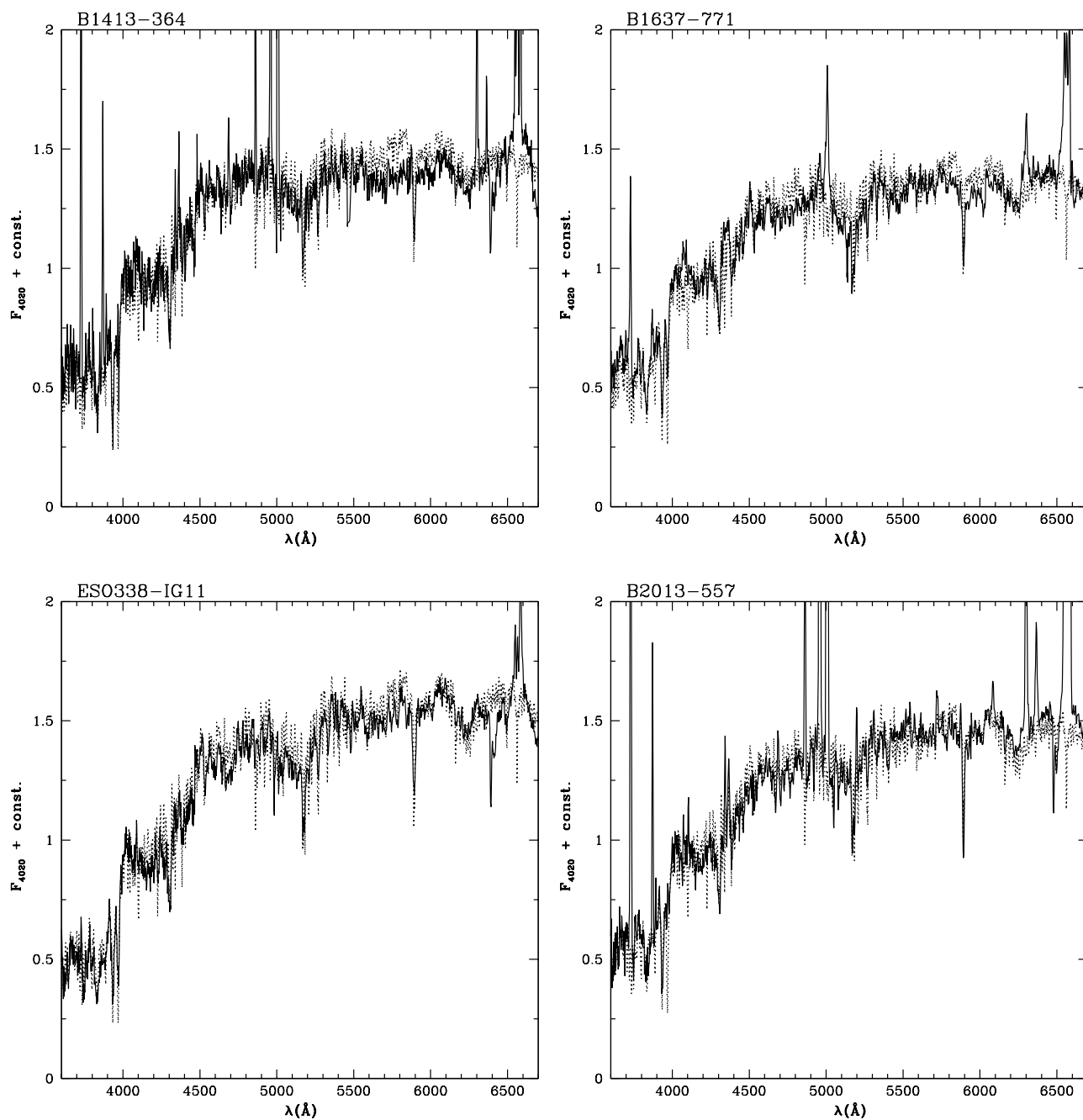


Fig. B.14: Rádio-galáxias: espectros no mesmo formato da Fig.5.3.

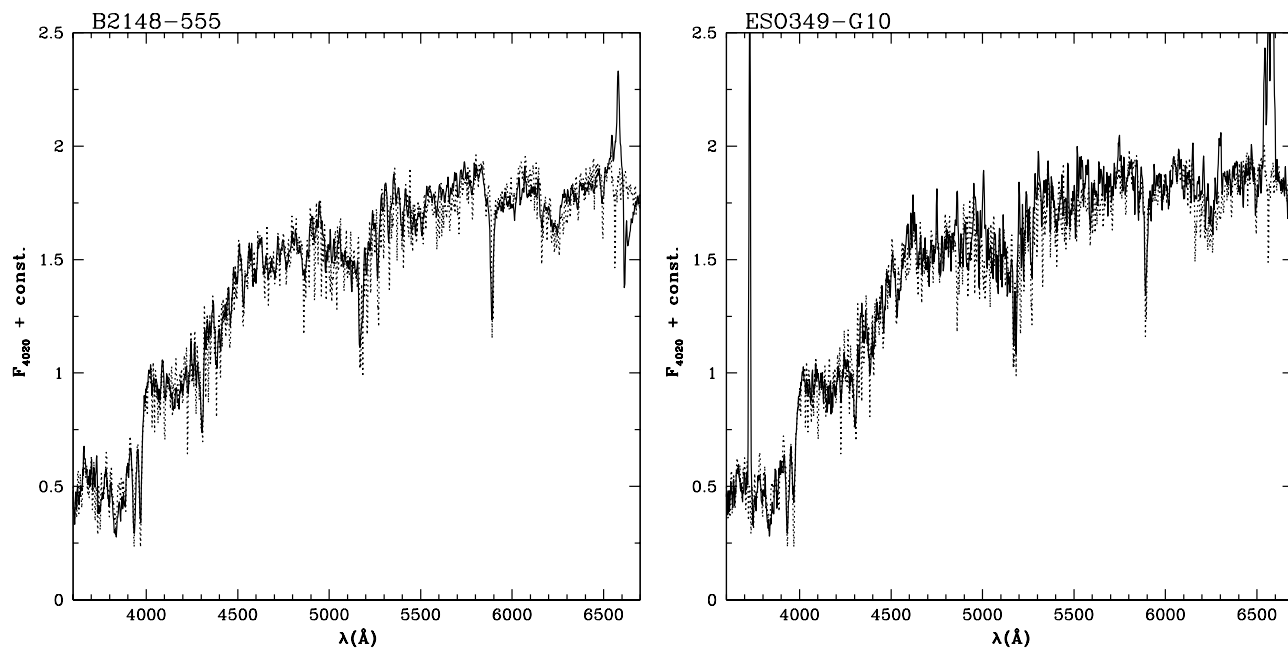


Fig. B.15: Rádio-galáxias: *espectros no mesmo formato da Fig.5.3.*

Bibliografia

- [1] ANTONUCCI, R.; HURT, T.; MILLER, J. HST ultraviolet spectropolarimetry of NGC 1068. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 430, n. 1, p. 210-217, July 1994.
- [2] ARETXAGA, I. et al. Stellar populations in the nuclear regions of nearby radio galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 325, n. 2, p. 636-648, Aug. 2001.
- [3] BICA, E.; ALLOIN, D.; SCHMITT, H. R. Integrated spectral properties of star clusters in the near ultraviolet. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 283, n. 3, p. 805-812, Mar. 1994.
- [4] BICA, E.; ALLOIN, D. A base of star clusters for stellar population synthesis. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 162, n. 1/2, p. 21-31, July 1986a.
- [5] BICA, E.; ALLOIN, D. A grid of star cluster properties for stellar population synthesis. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, Berlin, v. 66, n. 2, p. 171-179, Nov. 1986b.
- [6] BICA, E.; ALLOIN, D. Near-infrared spectral properties of star clusters and galactic nuclei. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 186, n. 1/2, p. 49-63, Nov. 1987.
- [7] BICA, E. Population synthesis in galactic nuclei using a library of star clusters. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 195, n. 1/2, p. 76-92, Apr. 1988.
- [8] BICKNELL, G. V. et al. Jet-induced emission-line nebulosity and star formation in the high-redshift radio galaxy 4C 41.17. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 540, n. 2, p. 678-686, Sept. 2000.
- [9] BRIDLE, A. H.; PERLEY, R. A. Extragalactic radio jets. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Palo Alto, v. 22, p. 319-358, 1984.
- [10] BRUZUAL, G.; CHARLOT, S. Stellar population synthesis at resolution of 2003. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 344, n. 4, p. 1000-1028, Oct. 2003.
- [11] CARDELLI, J. A.; CLAYTON, G. C.; MATHIS, J. S. The relationship between infrared, optical and ultraviolet extinction. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 345, n. 1, p. 245-256, Oct. 1989.

- [12] FERNANDES JR., R. Cid; STORCHI-BERGMANN, T.; SCHMITT, H. The stellar content of active galaxies. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 297, n. 2, p. 579-616, June 1998.
- [13] FERNANDES JR., R. Cid et al. Empirical diagnostics of the starburst-AGN connection. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 558, n. 1, p. 81-108, Sept. 2001.
- [14] CHAMBERS, K. C.; CHARLOT, S. The ages of high-redshift radio galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 348, n. 2, p. L1-L4, Jan. 1990.
- [15] DOTTORI, H. A.; PASTORIZA, M. G. A comparative study of the stellar content in normal and active nuclei of spiral galaxies. *Astrophysics and Space Science*, Dordrecht, v. 121, n. 1, p. 147-160, Apr. 1986.
- [16] FABIAN, A. C. The alignment of the optical continuum and radio axes of high-redshift radio galaxies - electron scattering in intracluster gas? *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 238, n. 1, p. 41P-44P, June 1989.
- [17] GONZÁLEZ DELGADO, R. M. et al. Ultraviolet-optical observations of the Seyfert 2 galaxies NGC 7130, NGC 5135, and IC 3639: implications for the starburst-active galactic nucleus connection. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 505, n. 1, p. 174-198, Sept. 1998.
- [18] 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. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 546, n. 2, p. 845-865, Jan. 2001.
- [19] HECKMAN, T. M. et al. A powerful nuclear starburst in the Seyfert galaxy Markarian 477: implications for the starburst – active galactic nucleus connection *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 482, n. 1, p. 114-132, June 1997.
- [20] JOGUET, B. et al. Stellar populations in Seyfert 2 galaxies I. Atlas of near-UV spectra. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 380, n. 1, p. 19-30, Dec. 2001.
- [21] JOLY, M. Study of the central region of M31. II. Synthetic models of stellar populations. *Astronomy and Astrophysics*, Berlin, v. 33, n. 2, p. 177-186, July 1974.
- [22] KAUFFMANN, G. et al. The host galaxies of AGN. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 346, n. 4, p. 1055-1077, Dec. 2003.
- [23] KAY, L. E. Blue spectropolarimetry of Seyfert 2 galaxies. I. Analysis and basic results. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 430, n. 1, p. 196-209, July 1994. pt. 1.

- [24] KOSKI, A. Spectrophotometry of Seyfert 2 galaxies and narrow-line radio galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 223, n. 1, p. 56-73, July 1978.
- [25] LILLY, S. J.; LONGAIR, M. S. Stellar populations in distant radio-galaxies. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 211, n. 2, p. 833-855, Dec. 1984.
- [26] MALKAN, M. A.; GORJIAN, V.; TAM, R. A Hubble Space Telescope imaging survey of nearby active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal Supplement*, Chicago, v. 117, n. 1, p.25-88, July 1998.
- [27] McCARTHY, P. J. et al. A correlation between the radio and optical morphologies of distant 3C radio galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 321, n. 2, p. L29-L33, Oct. 1987.
- [28] METROPOLIS, N. et al. Equation of state calculations by fast computing machines. *The Journal of Chemical Physics*, New York, v. 21, n. 6, p. 1087-1092, June 1953.
- [29] NEFF, S. et al. Ultraviolet imaging of the AGN+starburst galaxy NGC 1068. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 430, n. 2, p. 545-549, Aug. 1994.
- [30] NORMAN, C.; SCOVILLE, N. The evolution of starburst galaxies to active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 332, n. 1, p. 124-134, Sept. 1988.
- [31] PERRY, J. J.; DYSON, J. E. Shock formation of the broad emission-line regions in QSOs and active galactic nuclei. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 213, n. 2, p. 665-710, Apr. 1985.
- [32] PETERSON, B. M. *An introduction to active galactic nuclei*. Cambridge: Cambridge University Press. 1997.
- [33] PHILLIPS, M. M.; CHARLES, P. A.; BALDWIN, J. A. Nearby galaxies with Seyfert-like nuclei. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 266, n. 2, p. 485-501, Mar. 1983.
- [34] RAIMANN, D. et al. Stellar population gradients in normal and active galaxies. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 324, n. 4, p. 1087-1101, July 2001.
- [35] RAIMANN, D. et al. Stellar population gradients in Seyfert 2 galaxies: northern sample. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 339, n. 3, p. 772-792, Mar. 2003.
- [36] REES, M. J. The radio/optical alignment of high-z radio galaxies - triggering of star formation in radio lobes. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 239, n. 1, p. 1P-4P, July 1989.

- [37] SCHMIDT, A. A.; BICA, E.; DOTTORI, H. A. On the meaning of a minimization procedure applied to a degenerate astrophysical problem. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 238, n. 3, p. 925-934, June 1989.
- [38] SCHMIDT, A. A. et al. Population synthesis methods: discussion and tests on the solution uniqueness. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 249, n. 2, p. 766-778, Apr. 1991.
- [39] SCHMITT, H. The frequency of active and quiescent galaxies with companions: implications for the feeding of the nucleus. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 122, n. 5, p. 2243-2256, Nov. 2001.
- [40] SCHMITT, H.; STORCHI-BERGMANN, T.; FERNANDES JR., R. Cid. Spectral synthesis of the nuclear regions of Seyfert 2 and radio galaxies. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 303, n. 1, p. 173-178, Feb. 1999.
- [41] SCHMITT, H. R.; BICA, E.; PASTORIZA, M. G. Spectral analysis of the nuclear stellar population and gas emission in NGC6240. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 278, n. 4, p. 965-974, Feb. 1996.
- [42] SEYFERT, C. K. Nuclear emission in spiral nebulae. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 97, n. 1, p. 28-40, Jan. 1943.
- [43] STORCHI-BERGMANN, T. et al. The frequency of nuclear star-formation in Seyfert 2 galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 544, n. 2, p. 747-762, Dec. 2000.
- [44] STORCHI-BERGMANN, T. et al. Circumnuclear stellar population, morphology, and environment of Seyfert 2 galaxies: an evolutionary scenario. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 559, n. 1, p. 147-156, Sept. 2001.
- [45] STORCHI-BERGMANN, T.; FERNANDES JR., R. Cid; SCHMITT, H. R. The nature of the optical light in Seyfert 2 galaxies with polarized continua. *Astrophysical Journal*, Chicago, v. 501, n. 1, p. 94-102, July 1998.
- [46] STORCHI-BERGMANN, T.; CALZETTI, D.; KINNEY, A. L. Ultraviolet to near-infrared spectral distributions of star-forming galaxies: metallicity and age effects. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 429, n. 2, p. 572-581, July 1994.
- [47] TADHUNTER, C. N.; FOSBURY, R. A. E.; di SEREGO ALIGHIERI, S. Beamed ionizing radiation in radio galaxies. In: MARASCHI, L.; MACCACARO, T.; ULRICH, M.-H. (Eds.). *BL Lac objects*. Berlin: Springer-Verlag, 1989. p. 79. (Lectures notes in physics, v. 334)
- [48] TADHUNTER, C. et al. The origin of the UV excess in powerful radio galaxies: spectroscopy and polarimetry of a complete sample of intermediate-redshift

- radio galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 330, n. 4, p. 977-996, Mar. 2002.
- [49] TADHUNTER, C.; DICKSON, R.; SHAW, M. A. Young stars and scattered light in the powerful radio galaxy 3C 321. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 281, n. 2, p. 591-603, July 1996.
- [50] TADHUNTER, C. et al. The optical polarizations of high- and intermediate-redshift radio galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 256, n. 4, p. 53P-58P, June 1992.
- [51] TRAN, H. D. The nature of Seyfert 2 galaxies with obscured broad-line regions. III. Interpretation. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 440, n. 2, p. 597-605, Feb. 1995.
- [52] WILLS, K. A. et al. The ultraviolet excess in nearby powerful radio galaxies: evidence for a young stellar component. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 333, n. 1, p. 211-221, June 2002.
- [53] WILLS, K. A. et al. Emission lines and optical continuum in low-luminosity radio galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 347, n. 3, p. 771-786, Jan. 2004.
- [54] YEE, H. K. C.; OKE, J. B. Photoelectric spectrophotometry of radio galaxies. *The Astrophysical Journal*, Chicago, v. 226, n. 2, p. 753-769, Dec. 1978.