



Dissertação de Mestrado

**MAPAS DE DENSIDADE E
VELOCIDADE E ESTIMATIVA DE
DISTÂNCIA DA REGIÃO HII
GALÁCTICA NGC 2579**

Vinicius de Abreu Oliveira

PPGFísica

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**MAPAS DE DENSIDADE E
VELOCIDADE E ESTIMATIVA DE
DISTÂNCIA DA REGIÃO HII
GALÁCTICA NGC 2579 †**

por

Vinicius de Abreu Oliveira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Contração em Astronomia, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Física**.

Orientador: Prof. Dr. Marcus V. F. Copetti

Santa Maria, RS, Brasil
2006

†Trabalho financiado pela CAPES.

Dedicatória

*A minha filha querida que amo tanto ...
minha vida.*

*A minha esposa e amiga fiel, que sempre me apoiou
e incentivou a continuar em frente.*

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho e em particular,

↔ Ao meu orientador, professor Dr. Marcus V. F. Copetti pelos ensinamentos transmitidos, mas acima de tudo, pelo exemplo de integridade. Obrigado por sua amizade;

↔ À professora Dra. Maria Inês Copetti por sua atenção e amizade;

↔ Ao professor Dr. Alex A. Schmidt pelos ensinamentos, disponibilidade e amizade;

↔ Aos professores Dr. Paulo Piquini e Dr. Sérgio Magalhães, coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Física da UFSM, e a secretária do Programa, Saionara, pelo auxílio em várias situações;

↔ A minha esposa Paula pelo auxílio em todos os processos deste trabalho;

↔ À Ângela pelos auxílios na redução inicial dos dados, além de várias dicas de utilização do IRAF e de sua inestimável amizade;

↔ Aos meus companheiros de laboratório Oli, Luziane e Tiago pelas enriquecedoras discussões e grande amizade;

↔ Aos meus pais, José Maria e Izabel Judith, por todo o apoio e incentivo que me deram não só neste trabalho como em toda a minha vida, meu profundo respeito e gratidão;

↔ Ao meu sogro Davi Júlio e Vânia Maria, por fazerem parte de minha vida de maneira tão significativa, me apoiando e incentivando no decorrer desta caminhada;

↔ A minha sogra Sirlei, por estar sempre presente na minha vida com tanta dedicação e carinho;

↔ Ao meu irmão, Otávio, sua esposa Kathy e minha sobrinha Julia, por confiarem em meu sucesso nesta caminhada e estarem presentes, mesmo morando longe;

↔ À CAPES, pelo auxílio financeiro.

Hominis mens discendo alitur et cogitando.
Cícero (106 - 43 a.C.)

Resumo

Realizou-se um estudo observacional sobre a variação da densidade eletrônica na região HII NGC 2579 e a estimativa de sua distância em relação ao Sol e ao centro Galáctico. Medidas espectrofotométricas de fenda longa de alto sinal de ruído na faixa de 6 000 a 7 000 Å foram obtidas utilizando o espectrógrafo Cassegrain acoplado ao telescópio de 1,60 m do Laboratório Nacional de Astrofísica, MG. Foram feitas observações em 15 posições ao longo da direção Norte-Sul com espaçamento de 5", utilizando a fenda de 5,63' orientada na direção Leste-Oeste. Utilizaram-se imagens fotométricas nos filtros BVR, obtidas com o telescópio de 0,60 m do Laboratório Nacional de Astrofísica, MG, e imagens nos filtros U e nebulares, centrados em H α e em 6450 Å, com o telescópio de 1,50 m de diâmetro do Observatório Astronômico Nacional, San Pedro Mártir, México. De cada espectro bidimensional, foram extraídos espectros unidimensionais de setores de 5" ao longo da direção Leste-Oeste. Como sensor de densidade eletrônica, utilizou-se a razão de linhas [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$), obtendo-se um valor para a densidade eletrônica variando de 1 900 cm $^{-3}$, no centro da região HII, a 70 cm $^{-3}$, nas partes mais externas da nebulosa. Desta forma, foi obtido um mapa de densidade eletrônica em NGC 2579 com resolução espacial de 5" \times 5", sugerindo um forte gradiente de densidade eletrônica, caracterizado como efeito *champagne* na região HII NGC 2579. Foi construído um mapa de H α e, através do deslocamento devido ao efeito Doppler, estimou-se a velocidade em cada ponto, gerando-se um mapa de distribuição de velocidade em NGC 2579, ambos com a mesma resolução espacial de 5" \times 5". Como resultado adicional, verificou-se que a região HII NGC 2579 é composta por duas massas de gás ionizadas, uma central e mais brilhante e a outra menor e com menor brilho, a sudeste da primeira. Como resultado fotométrico foram obtidas a magnitude visual (V) e as cores (U-B) e (B-V) para as estrelas ionizantes da nebulosa. E, finalmente, três métodos foram utilizados para a estimativa de distância, encontrando-se a distância heliocêntrica variando de 7,11 kpc a 10,53 kpc, e a distância ao centro da Via Láctea variando de 12,44 a 15,18 kpc, conforme o método utilizado.

Abstract

An observational study was accomplished about the range of electron density in the H II region NGC 2579 and estimate its distance from the Sun and from the centre of the Galaxy. Long slit spectrophotometric data with high noise signal in the 6000 to 7000 Å were obtained by using the 1.60 m telescope of the Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), MG. We observed the H II region at 15 distinct positions in the direction North-South; the distance among the slit's positions was 5", the size of the slit was 5.63' and its orientation was East-West. Photometry was used in the BVR filters on 0.60 m telescope of the LNA, and the U and nebulars filters, centred in H α and 6450 Å on 1.50 telescope of the Observatório Astronômico Nacional, San Pedro Mártir, México. Unidimensional spectra were extracted by each bidimensional spectrum with sectors of size 5" in the direction East-West. The electron density was estimate by [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) line ratio, which showed a variation from 1900 cm $^{-3}$, in center of the H II region, to 70 cm $^{-3}$, in the edge of the nebula. Through the data obtained, it was possible to build a electron density map, with space resolution of 5" \times 5", it suggesting a strong gradient of electron density, characterized as the champagne effect in the H II region NGC 2579. An H α map was built and, through the shift owing to Doppler effect, it was possible to compute the velocity in each point over NGC 2579 and build a radial velocity map, both have a space resolution of 5" \times 5". An additional result showed that the H II region NGC 2579 is formed by two ionized gas mass, one more bright central nebulosity and a nebulosity with less brightness at southeast of the first. In the photometry, we found the visual apparent magnitude (V) and the colors (U-B) and (B-V) for the ionizing stars of the nebula. Finally, we used three different methods to compute the distance of the H II region. We found the heliocentric distance ranging from 7.11 to 10.53 kpc, and the distance from the Galactic center ranging from 12.44 to 15.18 kpc depending on the methods used.

Lista de Figuras

1.1	Diagrama dos níveis de energia.	15
1.2	Diagrama cor-cor.	18
1.3	Imagem de NGC 2579 observada sem filtro.	19
2.1	Representação das posições de fenda utilizadas na obtenção dos dados sobre NGC 2579.	23
2.2	Espectro de NGC 2579, obtido com a fenda na posição 0 e sobre a estrela de referência.	27
3.1	Mapa de fluxo em H_{α} , de densidade eletrônica e velocidade para a região HII NGC 2579	34
4.1	Esquema das estrelas visíveis de NGC 2579.	38
4.2	Diagrama cor-cor para estrelas da seqüência principal.	40
4.3	Diagrama cor-cor para estrelas da classe das gigantes.	41

Lista de Tabelas

2.1	Posições da fenda, tempos de exposição e data de observação para a espectroscopia de NGC 2579.	24
2.2	Objetos observados fotometricamente, filtros utilizados, tempo de exposição e data da observação.	25
4.1	Dados medidos por fotometria $UBVR$ para as estrelas na região HII NGC 2579, em magnitudes.	39
4.2	Magnitude absoluta visual e índice de cor intrínseco para as classes espectrais das estrelas em NGC 2579.	42
4.3	Excesso de cor $E(B - V)$ e distâncias heliocêntricas estimadas para as estrelas individuais da região HII NGC 2579.	43
4.4	Dados sobre os filtros centrados em H_α e em 6450 Å.	46
4.5	Distância estimada via fluxo em H_α para NGC 2579.	48
4.6	Quantidade total de fótons ionizantes para NGC 2579 conforme a distância e a presença (CE) ou ausência (SE) das estrelas ionizantes nas imagens fotométricas.	49
4.7	Distância de NGC 2579 calculada a partir dos métodos utilizados	49
B.1	Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 40 a 20 segundos de arco ao Sul da estrela de referência.	62
B.2	Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.	64
B.3	Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.	66
C.1	Razão do [SII] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de 40 a 20 segundos de arco para o Sul.	69
C.2	Razão do [SII] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.	71
C.3	Razão do [SII] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.	73
D.1	Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 40 a 15 segundos de arco para o Sul.	76

LISTA DE TABELAS

D.2	Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 10 segundos de arco para o Sul até 15 segundos de arco para o Norte. . .	78
D.3	Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 20 a 30 segundos de arco para o Norte.	80
E.1	Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, nas posições de 40 a 5 segundos de arco para o Sul.	83
E.2	Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, sobre a estrela de referência até 30 segundos de arco para o Norte.	85

Lista de Abreviações

- α , ascensão reta (coordenada do sistema equatorial);
- **ADU**, *Analogic Digital Unit*;
- **CCD**, *Charge Coupled Device*;
- δ , declinação (coordenada do sistema equatorial);
- **erg**, 1 erg equivale a $1,0 \times 10^{-7}$ J;
- **eV**, elétron-Volt, 1 eV equivale a $1,60 \times 10^{-19}$ J;
- **filtro**:
 - U*, ultravioleta, comprimento de onda efetivo de 3 650 Å;
 - B*, azul, comprimento de onda efetivo de 4 400 Å;
 - V*, visual, comprimento de onda efetivo de 5 500 Å;
 - R*, vermelho, comprimento de onda efetivo de 7 000 Å;
 - I*, infravermelho, comprimento de onda efetivo de 8 800 Å;
- **FWHM**, *Full Width at Half Maximum*;
- **Gum**, catálogo de Gun (1950);
- **IRAF**, *Image Reduction and Analysis Facility*;
- **LNA**, Laboratório Nacional de Astrofísica;
- **LSR**, *Local Standard of Rest*;
- M_{\odot} , massa solar, 1 M_{\odot} equivale a $1,99 \times 10^{30}$ kg;
- **NGC**, *New General Catalogue*;
- **OPD**, Observatório Pico dos Dias;
- **pc**, parsec, 1 pc equivale a 3,26 anos-luz ou $3,0856 \times 10^{13}$ km;
- **PSF**, *Point Spread Function*;
- **pxl**, pixel;
- **RCW**, catálogo de Rodgers, Campbell e Whiteoak;
- **RMS**, *Root Mean Square*;
- **SPM**, San Pedro Mártir.

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Nebulosas gasosas	12
1.2	Processos físicos em nebulosas gasosas	13
1.3	Determinação da densidade eletrônica	14
1.4	Estimativa de distância cinemática	16
1.5	Estimativa de distância utilizando fotometria	16
1.6	NGC 2579	19
1.7	Objetivos do estudo	21
2	Observação e Redução dos Dados	22
2.1	Coleta dos dados	22
2.1.1	Dados Espectroscópicos	22
2.1.2	Imagens Fotométricas	24
2.2	Redução dos dados obtidos	25
2.2.1	Dados espectroscópicos	25
2.2.2	Imagens fotométricas	27
3	Densidade Eletrônica e Velocidade Radial de NGC 2579	30
3.1	Medidas do fluxo das linhas de emissão	30
3.2	Mapa de fluxo em H_α	31
3.3	Mapa de densidade eletrônica	32
3.4	Mapa de velocidade radial	33
4	Cálculo da Distância de NGC 2579	36
4.1	Fotometria de NGC 2579	36
4.2	Resultados da fotometria $UBVR$	38
4.3	Distância cinemática	44
4.4	Distância via fluxo em H_α	44
4.5	Comparação entre as distâncias calculadas pelos três métodos	48
5	Considerações Finais	50
A	Procedimentos para Redução e Análise dos Dados Fotométricos	54
A.1	Redução dos dados	54
A.2	Fotometria das estrelas padrão	55
A.3	Fotometria do objeto	57

SUMÁRIO

A.4 Solução no sistema padrão	59
A.5 Fotometria das imagens com filtros nebulares	60
B Fluxos em H_{α} de NGC 2579	61
C Razões $\lambda 6716/\lambda 6731$ de NGC 2579	68
D Densidades Eletrônicas de NGC 2579	75
E Velocidades Radiais de NGC 2579	82

Capítulo 1

Introdução

1.1 Nebulosas gasosas

Até o início do século XX os objetos que apareciam de forma difusa em observações astronômicas eram classificados como nebulosas. Com o avanço tecnológico e o conseqüente aprimoramento dos detectores, surgiu a necessidade de uma reclassificação, definindo-se nebulosas gasosas os objetos compostos de gases ionizados em sua maior parte.

As regiões HII são nebulosas gasosas ionizadas por uma ou mais estrelas de temperatura efetiva em torno de 40 000 K. O principal elemento encontrado no gás é o hidrogênio (H) com cerca de 90% em número de átomos, seguido pelo hélio (He) com aproximadamente 10% e, em menores quantidades, vários outros elementos. As regiões HII possuem temperatura eletrônica (T_e) de aproximadamente 10 000 K, densidade eletrônica (N_e) de aproximadamente 100 cm^{-3} a $1\,000 \text{ cm}^{-3}$ e são encontradas associadas a nuvens moleculares.

As estrelas ionizantes de regiões HII são de tipo espectral O ou B, pois devem possuir temperaturas efetivas suficientemente altas para a emissão de grandes quantidades de fótons ionizantes do átomo de hidrogênio, isto é, fótons com energias superiores a 13,6 eV. Uma estrela O7, por exemplo, ioniza um volume de matéria igual ao ionizado por cerca de 200 estrelas B3 ou, ainda, por aproximadamente 5 milhões de estrelas A0 (STRÖMGREN, 1939).

Dentre as regiões HII conhecidas, pode-se encontrar desde regiões HII compactas, com dimensões inferiores a 1 pc, até regiões HII gigantes, com cerca de 100 pc. A massa de uma região HII é da ordem de 10^2 a $10^4 M_\odot$. As regiões HII são freqüentemente relacionadas como regiões formadoras de estrelas, pois as estrelas ionizantes encontradas são jovens com menos de 10 milhões de anos e ainda

estando na seqüência principal. Nas galáxias espirais, as regiões HII são principalmente encontradas sobre os braços espirais. Já nas irregulares, as regiões HII são encontradas por toda a galáxia (OSTERBROCK, 1989).

Uma característica importante observada nos espectros de nebulosas gasosas é a presença de intensas linhas de emissão sobrepostas a um fraco contínuo, destacando-se as linhas de recombinação do H e He. Existem ainda linhas de metais (na Astronomia são todos os elementos diferentes de H e He) de alta intensidade no espectro das regiões HII, denominadas de linhas de excitação colisional ou linhas proibidas.

Algumas destas linhas de excitação colisional, assim como algumas linhas de recombinação, são úteis na obtenção de dados sobre as propriedades físicas das nebulosas gasosas, como a temperatura e a densidade eletrônica. As principais linhas detectáveis são as emitidas pelos íons de oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S) em diferentes graus de ionização. As medidas de propriedades físicas de regiões HII, tais como temperatura e densidade eletrônicas e abundâncias, fornecem dados para o estudo de evolução química em galáxias.

Como as regiões HII em galáxias espirais estão concentradas no plano galáctico e, principalmente, sobre os braços espirais, através do estudo desses objetos, pode-se definir a estrutura espiral de galáxias e ainda medir as curvas de rotação das mesmas. Regiões HII também são muito abundantes em galáxias irregulares, onde são utilizadas para a determinação das propriedades físicas gerais destas galáxias.

O estudo de regiões HII é também importante em outras áreas da astrofísica, como cosmologia e evolução estelar. Através do cálculo da abundância do He em regiões HII, é possível estimar a quantidade de He primordial no Universo, por exemplo. Com medidas de abundâncias de metais, é possível testar a teoria de evolução estelar e química para estrelas de grande massa, determinar distâncias e massa do sistema galáctico, para citar apenas alguns exemplos.

1.2 Processos físicos em nebulosas gasosas

Em todas as nebulosas gasosas ocorrem os processos físicos de **fotoionização**, **recombinação**, **excitação colisional**, **desexcitação radioativa** e **colisões elásticas** entre os elétrons, variando apenas os níveis de intensidade destes processos (OSTERBROCK, 1989).

Fotoionização é o processo pelo qual um elemento absorve um fóton e emite um elétron com energia cinética igual à diferença entre a energia do fóton incidente e o potencial de ionização do átomo. Entende-se por potencial de ionização a energia

necessária para retirar um elétron do átomo. A unidade utilizada para esta grandeza é o elétron-Volt (eV).

Recombinação é o processo inverso da fotoionização e consiste na captura de um elétron livre por um íon e a consequente liberação de um fóton com a energia igual à diferença entre a energia cinética do elétron livre e a energia do nível no qual o elétron foi capturado. O elétron pode ser capturado para qualquer nível de energia do átomo. Se este for um nível excitado, o elétron irá realizar várias transições para estados menos energéticos, emitindo fótons com energias específicas, até atingir o nível fundamental.

Excitação colisional ocorre quando elétrons livres colidem com átomos ou íons, e a energia transferida não é suficiente para retirar um elétron, mas apenas para mudá-lo de nível de energia, excitando o átomo. Após um intervalo de tempo, este elétron decai, emitindo fótons de energias específicas.

Desexcitação radioativa de elétrons excitados por colisão ocorre quando o átomo excitado está em um nível metaestável, isto é, o tempo de decaimento é muito elevado. Para densidades do meio iguais as encontradas em laboratório, este fenômeno não ocorre, por isso os fótons emitidos desta forma são conhecidos como emissão de linha proibida, por exemplo as linhas do [SII]. Nas baixas densidade das nebulosas este fenômeno é freqüente e útil na determinação das propriedades físicas das nebulosas gasosas.

Por meio das colisões elásticas entre elétrons livres e partículas recém-liberadas pela fotoionização, dá-se a distribuição de energia cinética. Essas colisões são muito freqüentes. Por isso, embora as nebulosas gasosas não estejam em equilíbrio termodinâmico, a distribuição de velocidade dos elétrons livres corresponde a uma distribuição maxwelliana de velocidade, com uma temperatura, chamada de temperatura eletrônica, em torno de 10 000 K.

1.3 Determinação da densidade eletrônica

Um dos métodos possíveis para determinação da densidade eletrônica é baseado na medida da razão de intensidade de linhas de excitação colisional de um mesmo íon. Tais linhas são emitidas a partir de transições de níveis com energias de excitação muito próximas, fazendo com que a taxa de excitação relativa entre os níveis só dependa da razão de seus pesos estatísticos. Se os dois níveis têm diferentes probabilidades de transição radiativa ou taxa de desexcitação colisional, a população relativa destes níveis, assim como a razão de suas linhas, terá grande dependência em

relação à densidade eletrônica. Algumas razões de linhas utilizadas na determinação da densidade eletrônica são $[\text{O II}]\lambda 3729/\lambda 3726$ e $[\text{S II}]\lambda 6716/\lambda 6731$.

O diagrama de energia de $[\text{S II}]$ está representado na figura 1.1. As linhas mais utilizadas deste íon para medidas de densidade eletrônica são $\lambda 6716$ e $\lambda 6731$, por estarem próximas entre si e se encontrarem na região do vermelho no espectro visível, faixa em que detectores do tipo CCD são mais sensíveis.

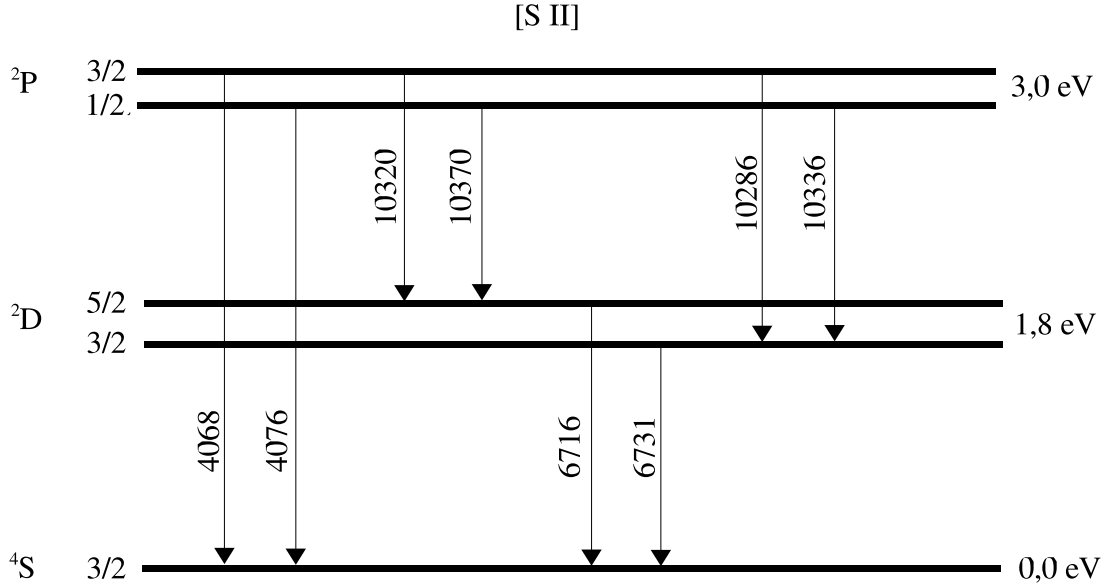


Figura 1.1: Diagrama dos níveis de energia para a configuração p^3 de $[\text{S II}]$. Os comprimentos de onda das transições estão representados em angstroms (\AA).

Medida a razão $[\text{S II}]\lambda 6716/\lambda 6731$, obtém-se a densidade eletrônica utilizando-se, por exemplo, a equação 1.1 indicada por Copetti & Writzl (2002) para a aproximação do átomo de 5 níveis

$$\frac{I(\lambda 6716)}{I(\lambda 6731)} = 1,44 \left(\frac{1 + 3,98 \times 10^{-2} N_e / T_e^{1/2}}{1 + 12,83 \times 10^{-2} N_e / T_e^{1/2}} \right), \quad (1.1)$$

sendo: $I(\lambda 6716)/I(\lambda 6731)$ a razão das intensidades das linhas de $[\text{S II}]$; N_e a densidade eletrônica, em cm^{-3} ; e T_e a temperatura eletrônica, em K. A estimativa da densidade eletrônica possui uma fraca dependência em relação à temperatura eletrônica, da ordem de $1/T_e^{1/2}$, conforme pode ser observado na equação 1.1.

O cálculo da densidade eletrônica pode também ser realizado através das linhas de recombinação no intervalo de frequências de rádio. Entretanto, este método não será abordado no presente trabalho.

1.4 Estimativa de distância cinemática

Devido ao deslocamento Doppler das linhas de emissão no espectro eletromagnético nebuloso observado, é possível determinar a velocidade radial v com a qual uma nebulosa se afasta ou se aproxima do Sol. Com o afastamento, ocorre um aumento no valor do comprimento de onda medido (λ) em relação ao determinado em laboratório (λ_o). Já para a aproximação, ocorre o processo inverso. A diferença $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$ é proporcional à velocidade v da nebulosa, conforme a aproximação não relativística

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c}, \quad (1.2)$$

sendo c a velocidade da luz no vácuo.

Para nebulosas gasosas galácticas, utiliza-se um modelo de rotação da galáxia para estimar a distância até o Sol a partir da velocidade radial medida. Tais modelos utilizam o princípio de que a posição de um objeto galáctico define sua velocidade em relação ao centro da galáxia, segundo uma lei específica. Os modelos de rotação variam para objetos que estão em uma órbita interna, entre o Sol e o centro da galáxia, ou que estão em uma órbita externa, mais longe do centro galáctico que o Sol.

1.5 Estimativa de distância utilizando fotometria

Um dos métodos de cálculo da distância de uma região HII utilizando imagens fotométricas consiste em estimar a diferença entre a magnitude aparente (m) e a magnitude absoluta (M) das estrelas ionizantes do objeto de interesse, método conhecido como o módulo de distância do objeto. Define-se magnitude absoluta como a magnitude aparente da estrela a uma distância fixa de 10 pc. As referidas magnitudes são dadas por

$$\begin{aligned} m &= -2,5 \log f + K_1, \\ M &= -2,5 \log F + K_2, \end{aligned} \quad (1.3)$$

sendo: f o fluxo de energia observado, em $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$; F a luminosidade absoluta, em erg s^{-1} ; e K_1 e K_2 constantes estabelecidas por convenção do sistema fotométrico utilizado.

Utilizando-se a lei do inverso do quadrado da distância

$$f = \frac{F}{4\pi d^2}, \quad (1.4)$$

tem-se uma relação entre as magnitudes aparente e absoluta e a distância dada por

$$m - M = 5 \log d - 5 + A, \quad (1.5)$$

sendo d a distância procurada, em parsec, e A a absorção da luz, chamada de avermelhamento, em magnitudes.

A magnitude M pode ser obtida pela classificação espectral das estrelas da região HII. Calculando-se a distância até estas estrelas, obtém-se uma estimativa da distância até a região HII do estudo.

O principal efeito da absorção da luz é o avermelhamento do fluxo emitido. Este efeito é causado pelo maior espalhamento ou absorção de fótons com menores comprimentos de onda (região do azul) em relação aos fótons de maiores comprimentos de onda (região do vermelho) que são pouco espalhados ou absorvidos. Este fenômeno ocorre quando o feixe de luz atravessa uma região com poeira interestelar. Como resultado, o fluxo observado tem uma proporção de fótons na região do vermelho em relação a fótons na região do azul maior que a do fluxo emitido.

O índice de cor é definido como a diferença entre duas magnitudes em filtros distintos. Por exemplo, a cor $(B-V)$ é a diferença entre a magnitude no filtro B (azul) e a no filtro V (visual). A cor tem como importante característica a não-dependência da distância do objeto. Por isso, pode ser utilizada para estimar a absorção da luz no cálculo da distância.

Um método eficaz para medir o avermelhamento é a utilização de um diagrama cor-cor. A figura 1.2 representa um diagrama cor-cor $(B-V) \times (U-B)$ para as estrelas da seqüência principal. Tem-se uma linha contínua com os valores intrínsecos para cada tipo espectral. As estrelas que se encontram sobre esta linha, conforme o valor de seus índices de cor, não apresentam avermelhamento do feixe de fótons. Na prática, porém, quando se estimam os índices de cor de uma estrela, ela se encontrará fora da linha contínua demarcada no diagrama cor-cor, isto devido ao avermelhamento do feixe observado.

A correção por avermelhamento dos dados é feita traçando uma reta partindo da posição onde se encontra a estrela no diagrama até o eixo representando o índice de cor $(U-B)$. A inclinação desta reta é de aproximadamente 0,72 (BOWERS & DEEMING, 1984). A classificação fotométrica do tipo espectral da estrela é dada

pela posição onde a reta de correção do avermelhamento intercepta a linha contínua. Este ponto de interceptação está relacionado com um tipo espectral específico, sendo possível classificar a estrela em estudo.

O deslocamento sobre o eixo horizontal da posição da estrela no diagrama até a linha contínua é denominado excesso de cor ($B-V$), chamado de $E(B-V)$ e, é proporcional ao avermelhamento da luz pela poeira interestelar, mais especificadamente,

$$A_V = R_V E(B - V), \quad (1.6)$$

sendo o índice V a indicação da faixa do visual e R_V a razão da extinção total e a seletiva, este para o visual tem o valor aproximado de 3 (BOWERS & DEEMING, 1984).

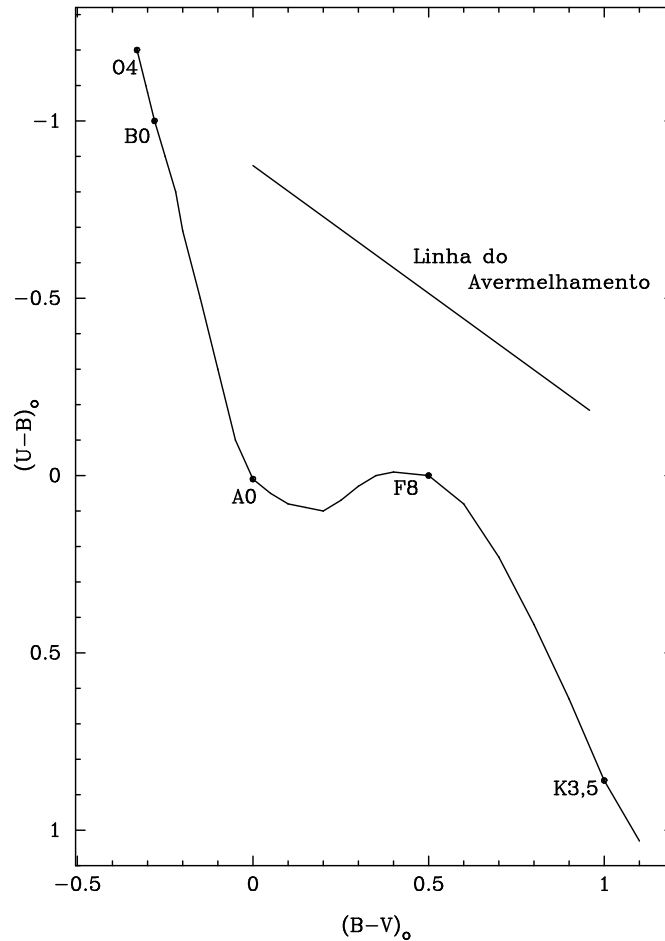


Figura 1.2: Diagrama cor-cor nas cores $(U-B)$ e $(B-V)$ para as estrelas da seqüência principal.

1.6 NGC 2579

A região HII galáctica NGC 2579, também conhecida por Gum 11, foi descoberta por John Herschel (1792-1871). Tem ascensão reta $\alpha = 8^{\text{h}}20^{\text{m}}55^{\text{s}}$ e declinação $\delta = -36^{\circ}12'59''$, para o ano de 2000, como coordenadas no sistema equatorial. Suas coordenadas galácticas tem a longitude $l = 254,67^{\circ}$ e latitude $b = +0,22^{\circ}$.

A figura 1.3 mostra uma imagem de NGC 2579 sem filtro. A nebulosidade no lado inferior esquerdo da figura, a sudeste de NGC 2579, está classificada como a nebulosa planetária PN G254.6+00.2, ou ESO 370-9, sendo a primeira denominação aquela adotada neste trabalho. Porém, esta nebulosa pode fazer parte de NGC 2579, formando uma única região HII. Apesar de seu alto brilho superficial, NGC 2579 é um objeto pouco estudado até então, devido a alguns problemas na sua identificação (RIFFEL, 2004).

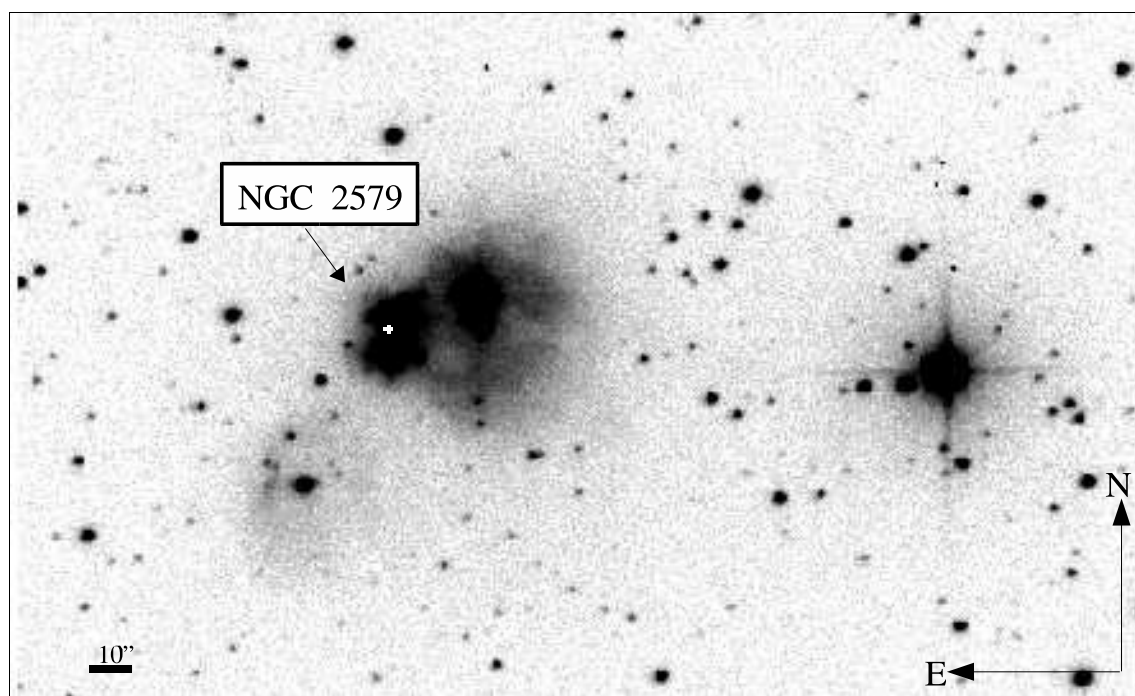


Figura 1.3: Imagem de NGC 2579 observada utilizando câmera direta com CCD acoplados ao telescópio de 0,60m do Observatório Pico dos Dias (OPD), sem utilização de filtro.

Lindoff (1974) realizou um estudo fotométrico em 4 aglomerados abertos, sendo que um destes incluía a região HII NGC 2579. O resultado estimado pelo autor vem confirmar o problema de identificação do objeto, pois o local de estudo não continha, realmente, a região HII NGC 2579. Esse local é um campo aleatório da

Via Láctea de várias estrelas não fisicamente associadas, e não o aglomerado aberto suposto pelo autor.

Georgelin *et al.* (1973) e Moffat *et al.* (1979) supuseram que NGC 2579 fazia parte do complexo RCW 19/20, estando, então, a uma distância heliocêntrica entre 2,7 e 3,0 kpc.

Copetti (2000) realizou observações utilizando fotometria integrada de 31 regiões HII galácticas visíveis no Hemisfério Sul da Terra, dentre elas, NGC 2579. Para esta, estimou uma largura equivalente $W_{H\beta}$ de $53 \pm 9 \text{ \AA}$, uma razão de linha $[\text{O III}]/H\beta$ de $5,5 \pm 0,4$ e um fluxo total em $H\beta$ igual a $\log(F_\beta) = -10,72 \pm 0,04$ com o fluxo em unidades de $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O autor estimou uma quantidade total de fótons ionizantes igual a $\log(Q(H^0)/\text{s}^{-1}) = 47,8$, assumindo uma distância de 3,0 kpc.

Copetti *et al.* (2000) estudaram a variação interna de densidade eletrônica em 15 regiões HII galácticas, verificando um forte gradiente de densidade em NGC 2579, com um pico de $1\,700 \text{ cm}^{-3}$ no centro e um mínimo de 100 cm^{-3} nas bordas externas. Este resultado indica a ocorrência do efeito *champagne* neste objeto. Ainda segundo os mesmos autores, NGC 2579 é o objeto mais denso e um dos mais brilhantes da amostra considerada pelos autores.

O efeito *champagne* corresponde à expansão não isotrópica de uma região HII formada na borda de uma nuvem molecular, que ocorrerá com velocidades maiores para fora da nuvem molecular, em direção ao meio interestelar mais rarefeito, por este apresentar menos resistência ao movimento (TENORIO-TAGLE, 1979).

Riffel (2004) estudou a região HII NGC 2579, utilizando a espectroscopia de fenda longa no intervalo espectral de 3 300 a 7 750 \AA , estimando, assim, as propriedades físicas da nebulosa. Para a temperatura eletrônica foi estimado um valor de aproximadamente 9 000 K utilizando a razão de linha do $[\text{O III}]$ ($\lambda 4959 + \lambda 5007/\lambda 4363$) e cerca de 10 480 K para a razão de linha do $[\text{N II}]$ ($\lambda 6548 + \lambda 6583/\lambda 5755$). Para a densidade eletrônica integrada encontrou-se 605 cm^{-3} , utilizando a razão de linhas do $[\text{S II}]$ ($\lambda 6516/\lambda 6531$). As abundâncias totais estimadas foram de $12 + \log(X/H) = 8,40 \pm 0,01; 7,27 \pm 0,03; 7,72 \pm 0,02; 7,29 \pm 0,02$ e $5,33 \pm 0,02$, com X representando os elementos pesquisados: O, N, Ne, S e Cl, respectivamente. Também foi verificado a existência de Hélio ionizado em toda zona de H^+ .

Riffel (2004) identificou e classificou três estrelas ionizantes para NGC 2579, sendo de tipo espectral O (uma O6,5, outra O5 e a terceira O8) todas da seqüência principal, classe V. Uma quarta estrela é percebida em NGC 2579, classificada como de tipo K1 III, classe das gigantes. Logo, não é uma estrela ionizante, devido a sua baixa temperatura efetiva, sendo, portanto, uma estrela de campo possivelmente

em frente a NGC 2579. O autor estimou a distância fotométrica para o objeto, encontrando um valor de 14 kpc, e também estimou a distância pelo número de fótons ionizantes igual a 26 kpc.

1.7 Objetivos do estudo

Como indicado na seção anterior, o estudo da região H II NGC 2579 foi iniciado por Copetti *et al.* (2000) com a identificação correta do objeto e a indicação de um possível efeito *champagne*, devido ao forte gradiente de densidade eletrônica identificado. Com Riffel (2004) houve a determinação das propriedades físicas de NGC 2579, como abundâncias químicas de oxigênio, hélio, nitrogênio, enxofre, neônio e cloro, temperatura eletrônica e densidade eletrônica integrada, além da classificação das estrelas observadas em NGC 2579 quanto ao tipo espectral.

O presente trabalho representa uma finalização do estudo de NGC 2579. O capítulo 2 apresenta os procedimentos utilizados na obtenção dos dados, assim como na redução dos mesmos. No capítulo 3 apresenta-se os mapas de intensidade de linha H_α , de densidade eletrônica e de velocidade radial do objeto, todos com uma resolução espacial $5'' \times 5''$.

No capítulo 4 estimou-se a distância da região H II NGC 2579 utilizando-se três métodos distintos. O primeiro método consistiu na estimativa do módulo da distância das estrelas ionizantes da região H II. Para tanto, utilizaram-se imagens fotométricas nos filtros *UBVR*. Além da estimativa da distância também foi possível obter a classificação fotométrica dos tipos espectrais das estrelas ionizantes de NGC 2579. O segundo método foi a utilização da velocidade radial do objeto para se estimar a distância até o Sol e até o centro galáctico, método conhecido como distância cinemática. E por último, a distância de NGC 2579 foi estimada utilizando-se o fluxo em H_α integrado para toda NGC 2579, estimado com imagens fotométricas no filtro nebuloso centrado em H_α .

Por fim, no capítulo 5 apresenta-se as considerações finais obtidas deste trabalho e as perspectivas futuras do trabalho.

Capítulo 2

Observação e Redução dos Dados

Dados espectroscópicos de NGC 2579 com fenda longa foram coletados em 22 e 23 de abril e 08 de novembro de 2004, por Vinicius de Abreu Oliveira. Foi utilizado o telescópio de 1,60 m do Observatório Pico dos Dias (OPD), Brazópolis - MG, mantido e administrado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), sediado em Itajubá - MG.

Imagens fotométricas de NGC 2579 nos filtros BVR foram obtidas em 10 de abril de 2005, por Vinicius de Abreu Oliveira utilizando o telescópio de 0,60 m do OPD. Também foram utilizadas imagens fotométricas para o filtro U e para os filtros nebulares centrados em H_α (6563 Å) e no comprimento de onda 6450 Å, obtidas em 09 e 15 de março de 2000, por Dr. Hector O. Castañeda no Observatório Astronômico Nacional, San Pedro Mártir (SPM), México, com um telescópio de 1,50 m.

2.1 Coleta dos dados

2.1.1 Dados Espectroscópicos

Utilizou-se um espectrógrafo Cassegrain acoplado ao telescópio de 1,60 m de diâmetro do OPD. Para detector foi utilizado um CCD SITE de 2048×2048 pixels juntamente com uma rede de dispersão de 1 200 linhas/mm, que resultou em uma dispersão espectral de $0,5 \text{ \AA pxl}^{-1}$. A escala espacial no detector foi de $0,56'' \text{ pxl}^{-1}$. Os espectros obtidos cobriram a faixa de 6 000 a 7 000 Å. A fenda utilizada foi colocada na direção Leste-Oeste tendo um tamanho de $5,63'$ no plano do céu e uma abertura de $120 \mu\text{m}$.

Exposições de *flat-fields* e de *bias* foram realizadas no início e no final de cada noite de observação. Para a calibração em fluxo, obtiveram-se os espectros das

estrelas padrão HR3454, para as observações em 22 e 23 de abril de 2004, e HR9087, para a observação em 08 de novembro de 2004. Para a calibração em comprimento de onda, utilizou-se de exposições curtas de lâmpada de He-Ar antes e depois de cada exposição do objeto.

As exposições de NGC 2579 foram realizadas com a fenda centrada em 15 posições ao longo da direção Norte-Sul, com passo de $5''$ (Figura 2.1). A tabela 2.1 apresenta dados básicos sobre as observações.

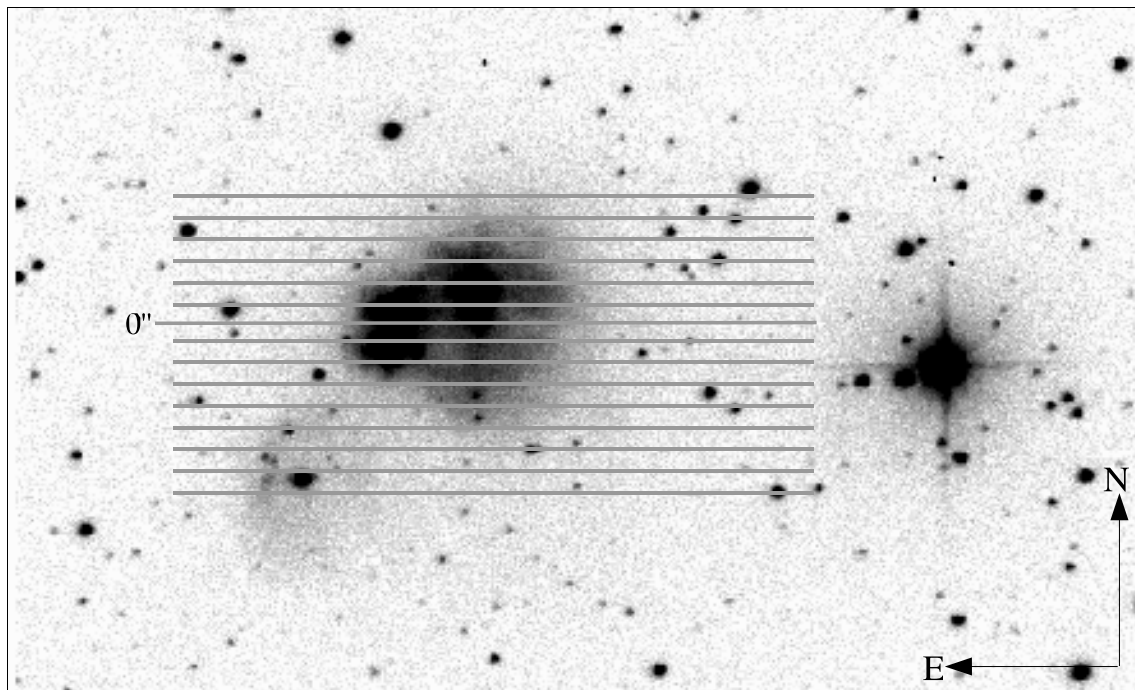


Figura 2.1: Representação das posições de fenda utilizadas na obtenção dos dados sobre NGC 2579, o espaçamento entre cada posição é de $5''$. Imagem observada utilizando câmera direta com CCD acoplados ao telescópio de 0,60 m do Observatório Pico dos Dias (OPD), sem utilização de filtro.

A primeira coluna dessa tabela indica a posição da fenda para a obtenção do espectro, a posição 0 representa a fenda centrada sobre a estrela utilizada como referência, indicada com uma cruz branca na figura 1.3. A estrela de referência está identificada como VdBH 13b A no catálogo de Van den Bergh & Herbst (1975). As posições positivas indicam um deslocamento da fenda para o Norte da estrela de referência, e as negativas, para o Sul. A segunda coluna informa a quantidade de espectros obtidos, assim como os tempos de exposição. E, na terceira coluna, apresenta-se a data da observação dos dados espectroscópicos.

Tabela 2.1: Posições da fenda, tempos de exposição e data de observação para a espectroscopia de NGC 2579.

Posição	Tempo de exposição [s]	Data (2004)	Posição	Tempo de exposição [s]	Data (2004)
0	2×1200	22.04	$-5''$	1×1200	23.04
$+5''$	1×600	08.11	$-10''$	1×1200	23.04
$+10''$	1×1200	22.04	$-15''$	1×1200	23.04
$+15''$	2×1200	22.04	$-20''$	1×1200	23.04
$+20''$	2×600	08.11	$-25''$	1×1200	23.04
$+25''$	1×1200	22.04	$-30''$	1×1200	23.04
	1×1200	08.11	$-35''$	1×1200	23.04
$+30''$	1×1200	22.04	$-40''$	1×1200	23.04
	1×1200	08.11			

2.1.2 Imagens Fotométricas

A obtenção de imagens fotométricas nos filtros BVR foi realizada com o telescópio de 0,60 m de diâmetro do OPD. Como detector foi utilizado um CCD SITE de 1024×1024 pixels. O ruído de leitura do detector foi de 4,1 elétrons/RMS, o ganho foi de 5,0 elétrons/ADU, e a escala espacial foi de $0,46'' \text{ pxl}^{-1}$. Com o telescópio de 1,50 m de diâmetro de SPM, obtiveram-se imagens fotométricas no filtro U e nos filtros nebulares centrados em H_α (6563 \AA) e no comprimento de onda de 6450 \AA . O detector utilizado foi um CCD SITE de 1024×1024 pixels. A escala espacial de $0,24'' \text{ pxl}^{-1}$. O ruído de leitura do detector foi de 7,8 elétrons/RMS, e o ganho foi de 1,2 elétrons/ADU.

Imagens de *flat-fields*, para cada filtro, e de *bias* foram realizadas no início e no final de cada noite de observação. Para padrão fotométrico na observação em 10 de abril de 2005 no OPD, utilizaram-se as regiões SA 99, estrelas 447 e 438, e SA 106, estrela 700 do catálogo de padrões de Landolt (1992). Já para a observação em 9 e 15 de março de 2000 em SPM, foram utilizadas as estrelas padrão PG0918+029, PG1323-086 e Feige 34. O *seeing* durante a observação variou de $1,55''$ a $2,3''$ para o OPD e de $4,8''$ a $8,1''$ em SPM. Algumas imagens coletadas em SPM, aquelas nos filtros BVRI, apresentam problemas nos valores das contagens e nos *flat-fields* prejudicando os dados. Por isso, estas imagens não foram utilizados neste trabalho.

Na tabela 2.2 apresenta-se o nome do objeto observado (primeira coluna), o filtro utilizado (segunda coluna), a quantidade de imagens obtidas e do tempo de exposição (terceira coluna) e a data de observação (quarta coluna).

Foi realizada uma observação sem a utilização de filtro (limpo) no OPD. Esta imagem foi utilizada apenas para identificar visualmente o objeto de estudo deste trabalho.

Tabela 2.2: Objetos observados fotometricamente, filtros utilizados, tempo de exposição e data da observação.

Objeto	Filtro	Tempo de exposição (s)	Data
NGC 2579	U	1×300	09.03.2000
	B	$5 \times 120 + 5 \times 240$	10.04.2005
	V	$5 \times 45 + 7 \times 35 + 5 \times 25$	10.04.2005
	R	$6 \times 25 + 10 \times 10 + 6 \times 20$	10.04.2005
	limpo	1×5	10.04.2005
	H_α	5×300	15.03.2000
	6450	4×60	15.03.2000
Feige 34	H_α	2×300	15.03.2000
	6450	1×200	15.03.2000
PG0918+029	U	1×300	09.03.2000
PG1323-086	U	2×300	09.03.2000
SA 99-447/438	B	6×50	10.04.2005
	V	6×20	10.04.2005
	R	5×15	10.04.2005
SA 106-700	B	$6 \times 120 + 11 \times 240$	10.04.2005
	V	$5 \times 90 + 7 \times 45$	10.04.2005
	R	$14 \times 15 + 6 \times 30$	10.04.2005

As duas últimas imagens para a padrão SA 106-700 nos filtros B, de tempo de exposição de 240 segundos, e nos filtros V, de tempo de exposição de 45 segundos foram observadas com massa de ar igual ou superior a 2,0. Estas imagens foram coletadas para se obter uma estimativa da extinção atmosférica.

2.2 Redução dos dados obtidos

2.2.1 Dados espectroscópicos

Para a redução dos dados foram utilizados procedimentos padrão, tais como a correção de *bias* e *flat-fields*, a retirada de raios cósmicos, a calibração em comprimento de onda e fluxo e a extração de espectros unidimensionais. Em todos os procedimentos, utilizou-se o pacote de análise e redução **IRAF** (*Image Reduction*

and Analysis Facility). Os procedimentos utilizados estão descritos em detalhe no apêndice A de Riffel (2004).

Foram realizadas a média das imagens de *bias* e a média das imagens de *flat-fields*, sendo que para esta foi retirada a dependência com o comprimento de onda, normalizando-as. Dos espectros de NGC 2579, das estrelas padrão e das lâmpadas de He-Ar subtraiu-se a imagem obtida da média de *bias*, e dividiu-se o resultado pela imagem média normalizada de *flat-fields*. Os raios cósmicos identificados nos espectros de NGC 2579, das estrelas padrão e das lâmpadas de He-Ar foram removidos de forma interativa.

Extraíram-se de cada espectro bidimensional espectros unidimensionais. O tamanho de cada abertura foi definido como sendo de 9 pixels, o equivalente a aproximadamente 5". Tendo-se 15 espectros bidimensionais, referentes às posições utilizadas para a fenda, obteve-se um total de 750 espectros unidimensionais. Dos espectros bidimensionais das estrelas padrão foi extraído um espectro unidimensional de uma faixa de 20 pixels, aproximadamente 11", centrada na estrela.

Durante a observação é provável que ocorra um deslocamento não desejado da fenda na direção Leste-Oeste quando esta é deslocada na direção Norte-Sul. Para compensar este possível deslocamento, na extração dos espectros unidimensionais de NGC 2579, verificou-se a posição da estrela de referência no espectro de posição 0, ou seja, na abertura em que a estrela de referência está centrada no espectro. Alinhou-se os demais espectros bidimensionais com a posição relativa a estrela de referência. Desta forma foi possível um posterior alinhamento dos resultados para a construção dos mapas de intensidade da intensidade de linha H_{α} , de densidade eletrônica e de velocidade radial.

Para a calibração em comprimento de onda foram extraídos espectros unidimensionais de cada espectro bidimensional de lâmpada de He-Ar. as exposições de lâmpada foram realizadas antes e depois de cada exposição de NGC 2579 e das estrelas padrão, isto é, cada exposição de lâmpada se refere a um objeto específico. Então, os espectros unidimensionais foram extraídos conforme a configuração do objeto para o qual a lâmpada se refere. Identificaram-se as linhas de emissão que aparecem no espectro unidimensional de lâmpada He-Ar, conforme valores tabelados. Finalmente, calibraram-se os espectros unidimensionais de NGC 2579 e das estrelas padrão em comprimento de onda.

O fluxo tabelado para as estrelas padrão adotadas em cada comprimento de onda detectado no espectro unidimensional foi utilizado na determinação da função de sensibilidade relacionando-os com os fluxos medidos nos espectros. Por fim, o

resultado obtido da função de sensibilidade foi utilizado na calibração em fluxo.

A figura 2.2 representa um dos espectros unidimensionais medidos para a posição 0 da fenda na abertura sobre a estrela de referência, onde encontram-se destacadas as linhas do [SII] ($\lambda 6716$ e $\lambda 6731$) e $H\alpha$ ($\lambda 6563$).

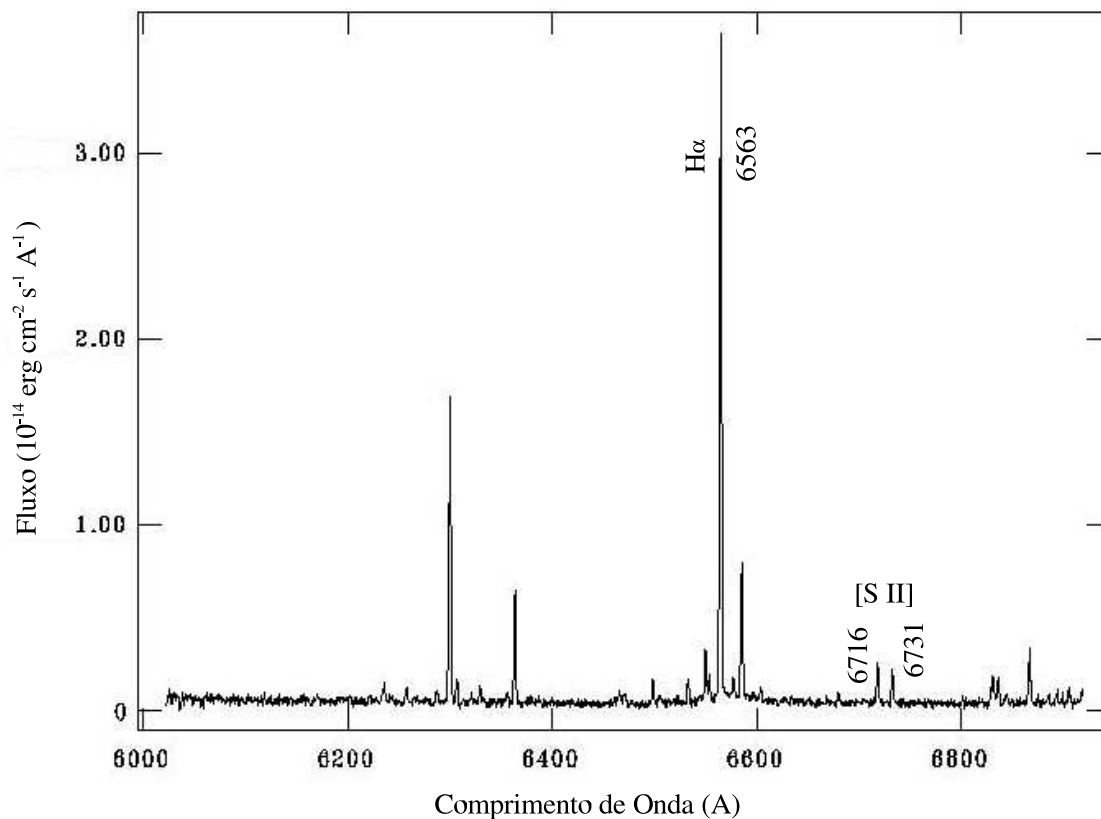


Figura 2.2: Espectro de NGC 2579, obtido com a fenda na posição 0 e sobre a estrela de referência.

2.2.2 Imagens fotométricas

A redução dos dados foi realizada seguindo procedimentos padrão, tais como a correção de *bias* e *flat-fields*, a retirada de raios cósmicos e a fotometria das estrelas observadas no objeto e nas estrelas padrão. Utilizou-se o pacote de análise e redução IRAF. Os procedimentos utilizados estão descritos em detalhe no apêndice A deste trabalho.

Realizaram-se a média das imagens de *bias* e a média das imagens de *flat-fields*, estes separados por filtro. Das imagens de NGC 2579 e das estrelas padrão subtraiu-se a imagem obtida da média de *bias*, e dividiu-se o resultado pela imagem média

de *flat-fields* por filtro.

Para a remoção dos raios cósmicos foram combinadas as imagens para cada filtro, utilizando o valor mediano em cada pixel. Entre as várias observações realizadas do mesmo objeto, no mesmo filtro, ocorre um pequeno deslocamento relativo entre as imagens, que deve ser levado em consideração na combinação das imagens. Calculou-se estes pequenos deslocamentos, as imagens foram realinhadas e realizou-se a combinação das mesmas. A partir desta combinação das imagens foi possível a retirada da maioria dos raios cósmicos presentes, os restantes foram retirados interativamente.

A combinação de imagens gera um aumento na relação sinal-ruído. Assim, é necessário realizar uma correção no ganho e no ruído de leitura dos dados, a qual é dada em Massey & Davis (1992) por

$$\begin{aligned} g_{\text{corrigido}} &= gN, \\ r_{\text{corrigido}} &= r\sqrt{N}, \end{aligned} \tag{2.1}$$

sendo g o ganho, r o ruído e N o número de imagens combinadas.

Para a fotometria das estrelas padrão estimou-se a largura a meia altura (FWHM) das estrelas observadas, definindo-se, assim, o tamanho da abertura a ser utilizada: 18 pixels para as regiões SA 106-700 e SA 99-447/438, 52 pixels para região Feige 34 e 50 pixels para os campos PG0918+029 e PG1323-086. O valor do céu foi configurado para ser calculado em um anel de espessura de 5 pixels em torno da estrela marcada. Define-se como o valor do céu as contagens, em ADU, devido a outras fontes que não o próprio objeto que introduzem um fundo nas medidas do objeto.

Devido à existência de apenas uma estrela nas regiões SA-106, PG0918+029 e PG1323-086, a estrela padrão em cada região foi encontrada e sua magnitude instrumental calculada utilizando uma rotina automática. A região SA-99 possui duas estrelas padrão, indicadas por Landolt (1992), e outras 50 estrelas padrão secundárias, indicadas por Galadí-Enríquez *et al.* (2000). Nas imagens obtidas foram identificadas 37 estrelas padrão secundárias, sendo que este valor foi menor para o filtro B. Para esta região realizou-se a fotometria identificando manualmente todas as estrelas padrão.

Com dados da literatura gerou-se um catálogo com as magnitudes aparente nos filtros UBVR das estrelas padrão e um arquivo texto com as magnitudes instrumentais medidas. Criou-se um arquivo com as equações de transformação entre as magnitudes instrumentais e as do catálogo. As equações foram resolvidas ajustando o resultado de forma que se obteve-se um residual de 0,01 mag.

Para a estrela padrão Feige 34, foi realizada a fotometria para se obter fluxo total em contagens e não a magnitude. Isto porque os seus resultados serão utilizados na estimativa da quantidade total de fluxo em H_α de NGC 2579 (Seção 4.4).

No capítulo seguinte tem-se as medidas de intensidade das linhas de H_α ($\lambda 6563$) e do [S II] ($\lambda 6716$ e $\lambda 6731$). Apresenta-se a estimativa da densidade eletrônica, via razão de linhas do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$), e o cálculo da velocidade radial para a região H II NGC 2579, via deslocamento Doppler da linha H_α . Apresenta-se, ainda, os mapas de intensidade de H_α , de densidade eletrônica e de velocidade radial.

Capítulo 3

Densidade Eletrônica e Velocidade Radial de NGC 2579

Os fluxos das linhas do [S II] ($\lambda 6716$ e $\lambda 6731$) foram medidas em cada espectro unidimensional, assim como a intensidade da linha H_α . A razão de linhas do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) foi utilizada como sensor de densidade eletrônica, e o fluxo em H_α foi utilizado como delimitador da região H II. Também foi medido o comprimento de onda observado para a linha H_α , a fim de estimar a velocidade radial de NGC 2579 utilizando o deslocamento Doppler.

Os fluxos em H_α medidos e as razões [S II] $\lambda 6716/\lambda 6731$, as densidades eletrônicas e as velocidades radiais calculadas estão nos apêndices B, C, D e E, respectivamente.

3.1 Medidas do fluxo das linhas de emissão

Para determinar a densidade eletrônica em NGC 2579, mediram-se as intensidades das linhas do [S II] $\lambda 6716$ e $\lambda 6731$, utilizando a tarefa **plot** do IRAF. Para melhor delimitação da nebulosa, mediu-se a linha H_α ($\lambda 6563$) utilizando a mesma tarefa. Este procedimento foi realizado individualmente para cada espectro unidimensional, resultando em 750 medidas para cada linha de emissão.

A estimativa dos erros referentes às medidas de intensidade das linhas de emissão representa as incertezas devido à natureza da observação, a retirada de raios cósmicos, assim como das próprias medidas das linhas. Levando estes fatores em consideração, a estimativa dos erros foi estabelecida utilizando a estimativa de erro de Poisson (BEVINGTON, 1969)

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\sigma_{\text{cont}}^2 + \alpha F_{\text{calib}}}, \quad (3.1)$$

sendo σ_λ o erro de Poisson na medida da intensidade da linha λ , σ_{cont} a raiz quadrada média (RMS) do contínuo medido próximo à linha λ e α a razão entre fluxo calibrado (F_{calib}) e o fluxo em contagens.

Na estimativa de densidade eletrônica utilizando o duplete de [S II], a correção por avermelhamento não é necessária, pois as linhas de interesse estão muito próximas, separadas apenas por 15 Å, sofrendo praticamente o mesmo avermelhamento. A correção por avermelhamento também não foi realizada para as medidas de intensidade da linha H_α , pois foram utilizadas somente como delimitadoras da região H II e para o cálculo da velocidade radial.

O erro referente à razão das linhas medidas para o [S II] foi estimado por

$$\sigma_r = \frac{I_{6716}}{I_{6731}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{6716}}{I_{6716}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{6731}}{I_{6731}}\right)^2}, \quad (3.2)$$

com I_{6716} e I_{6731} indicando a intensidade medida da referida linha, σ_{6716} e σ_{6731} o erro de Poisson estimado pela equação 3.1.

As densidades eletrônicas para cada espectro unidimensional foram obtidas a partir da tarefa **temden** do pacote *stsdas.nebular* do IRAF. Como parâmetros de entrada utilizou-se o valor da razão de linhas utilizada, qual a razão de linha que está sendo utilizada e um valor para a temperatura eletrônica.

Os parâmetros de entrada utilizados foram o valor calculado para a razão das linhas do [S II] ($\lambda_{6716}/\lambda_{6731}$) e uma temperatura eletrônica de 10 000 K, que além de ser um valor mais comum em regiões H II, está dentro do intervalo de temperatura eletrônica estimada por Riffel (2004).

Obtiveram-se as medidas de intensidade da linha H_α e seu comprimento de onda utilizando a rotina **splot**. O erro utilizado se refere ao erro de calibração em comprimento de onda. O deslocamento no comprimento de onda observado para o vermelho, isto é, para valores maiores do que os previstos, representa um desvio Doppler. Deste desvio, estimou-se a velocidade radial de NGC 2579.

3.2 Mapa de fluxo em H_α

Segundo Phillips & Cuesta (1999), para a nebulosa planetária NGC 3587, e Cuesta & Phillips (2000), para a nebulosa planetária bipolar M2-9, existe uma boa correspondência entre a nebulosidade indicada pelo mapa fluxo em H_β e o mapa de densidade eletrônica, calculada pela razão de linhas do [S II].

Então, pode-se assumir a mesma relação entre a densidade eletrônica e H_α .

Sendo assim, o mapa de fluxo em H_α foi utilizado como limitador da região H II, descartando-se as medidas de densidades eletrônicas encontradas nas regiões de baixa intensidade da linha H_α . Portanto neste trabalho assumiu-se que os pontos com fluxo em H_α inferior a $0,6 \times 10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ estão fora da nebulosa. Este valor foi escolhido por representar uma queda de intensidade por um fator de 1000 em relação ao valor de pico.

Um mapa de fluxo em H_α foi gerado com os dados medidos e está representado no topo da figura 3.1. Onde o eixo horizontal representa a ascensão reta (α) para o ano de 2000, o eixo vertical representa a posição adotada para a fenda, em segundos de arco, em relação a estrela de referência. A posição $0''$ representa a posição da fenda sobre a estrela de referência. Todas os mapas estão alinhados possibilitando uma comparação entre eles. As escalas de cor utilizadas têm suas unidades indicadas em cada mapa no eixo vertical a direita da imagem.

3.3 Mapa de densidade eletrônica

Os valores de densidade que se encontravam em regiões fora do limite imposto pela intensidade de H_α foram descartados, ou mais especificamente, definiu-se a densidade eletrônica nestes pontos igual a zero. Este procedimento não acarretou perdas de informação, na realidade os pontos descartados continham valores não confiáveis e, em alguns destes pontos, não foi possível estimar a densidade eletrônica.

Do mapa de densidade eletrônica, pode-se observar uma região central, além de uma pequena região a Oeste da mesma, com altas densidades eletrônicas, características de alta ionização. Como verificado por Copetti *et al.* (2000) o valor da densidade eletrônica diminui com a distância da região central.

É possível identificar uma tendência de maior presença do gás ionizado na direção Oeste, indicando o efeito *champagne*. Isto é, para o Oeste, o gás avança através do vácuo, não havendo dificuldade para o deslocamento da nebulosa nesta direção. Na figura 3.1 (centro), este efeito é indicado pela existência de medidas de densidade eletrônica em pontos a Oeste da posição central com um decaimento gradativo. No entanto, para o Leste, as medidas são interrompidas bruscamente. Existe uma fonte de rádio, denominada GPA 254.68+0.23, localizada a Leste de NGC 2579, sugerindo a existência de uma nuvem molecular dificultando o movimento do gás ionizado nesta direção. Brand & Blitz (1993) identificaram uma nuvem molecular nestas coordenadas, estes autores denominaram essa nuvem molecular de BBW 138.

3.4 Mapa de velocidade radial

Para a estimativa da velocidade radial de NGC 2579, utilizou-se da linha H_α por ser a mais intensa no espectro e, conseqüentemente, a mais fácil de ser medida, tanto em intensidade quanto em comprimento de onda.

Como alguns dos espectros utilizados foram observados em data diferente dos demais, a velocidade radial calculada apresenta grande variação. Isto porque existe um movimento relativo entre o observador e o objeto: em certas épocas do ano, o observador se aproxima do objeto, e em outras, se afasta. Tal movimento é devido à rotação da Terra, ao movimento do conjunto Terra-Lua em relação ao seu centro de massa, à translação da Terra e ao movimento Terra-Sol-centro galáctico.

A velocidade Doppler calculada foi corrigida utilizando a rotina **rvcorrect** do pacote *noao.rv* do IRAF, resultando na velocidade radial heliocêntrica (V_{helio}), em relação ao Sol, e na velocidade radial V_{LSR} , em relação ao padrão local de repouso. O padrão local de repouso (LSR, da sigla em inglês) é representado pelas estrelas da vizinhança do Sol, para as quais se calcula uma velocidade média. A velocidade radial V_{LSR} representa a velocidade com a qual o objeto se afasta do padrão local de repouso.

Gerou-se um mapa de velocidade radial V_{LSR} , representado na base da figura 3.1. Os pontos situados onde não existe mais nebulosa, segundo o critério adotado pela linha H_α , não foram retirados do mapa de velocidade radial, pois pretende-se verificar a velocidade e o deslocamento do gás ionizado mesmo nos pontos de muito baixa ionização, indicativo da direção do deslocamento do material ionizado.

A partir do mapa de velocidade radial é possível observar uma queda abrupta de velocidade radial na direção Leste. Esta queda representa uma frente de onda se propagando dentro de uma nuvem molecular cujo o gás é não-ionizado e frio em relação ao gás da região HII. Para a direção Oeste de NGC 2579 é observada uma redução lenta e gradativa, indicando que o gás ionizado se propaga de forma livre e turbulenta, resultando em uma velocidade radial menor a medida que se afasta de NGC 2579. Esta diferença de velocidade radial é indicação do efeito *champagne*, confirmando a hipótese de Copetti *et al.* (2000) e a análise realizada para o mapa de densidade eletrônica, apresentada na seção 3.3.

Com o mapa de velocidade radial pode-se verificar que a nebulosidade a sudeste de NGC 2579, classificada como nebulosa planetária PN G254.6+00.2 (Figura 1.3), está fisicamente associada a NGC 2579, pois tem a mesma velocidade de todo o conjunto. Conseqüentemente está a mesma distância em relação ao Sol e ao centro galáctico.

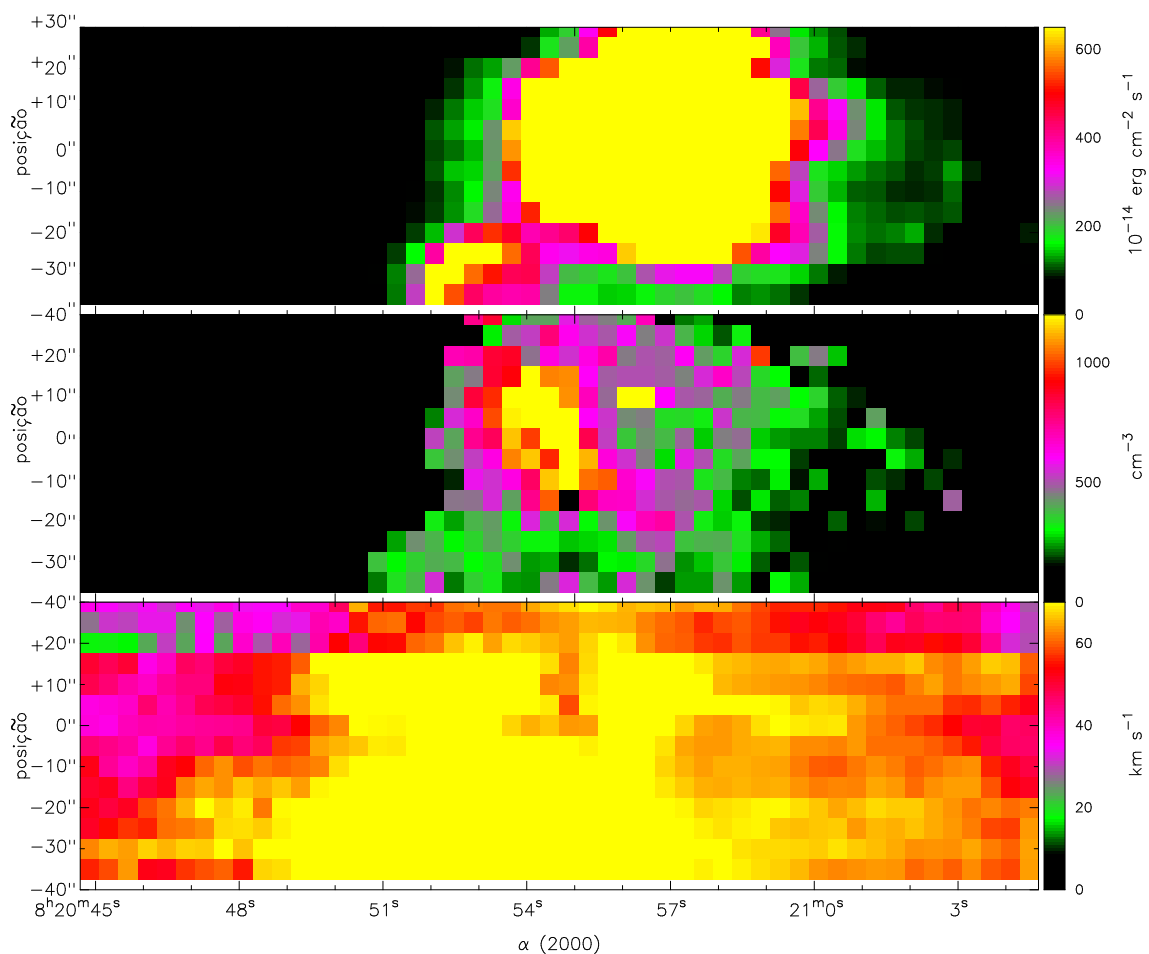


Figura 3.1: No topo, mapa de fluxo em H α ; no centro mapa de densidade eletrônica; na base, mapa de distribuição de velocidade radial; todos para a região HII NGC 2579. A direção Norte aponta para a parte superior e a direção Leste para a esquerda da imagem, o eixo horizontal está representado pela ascensão reta, o eixo vertical está representado pela posição da fenda em relação a estrela adotada com referência em segundos de arco.

No próximo capítulo estima-se a distância de NGC 2579 utilizando três métodos distintos: fotometria *UBVR*, velocidade radial e fluxo em H_{α} . Além da estimativa da distância também foi possível obter a classificação fotométrica dos tipos espectrais das estrelas ionizantes de NGC 2579. Uma comparação entre os resultados obtidos em cada método é apresentada no final do capítulo 4.

Capítulo 4

Cálculo da Distância de NGC 2579

A distância da região HII NGC 2579 foi estimada utilizando o módulo da distância, com as magnitudes calculadas nas imagens fotométricas coletadas no OPD e SPM, nos filtros UBV. Um diagrama cor-cor foi criado com os índices de cor ($B - V$) e ($U - B$), para as estrelas observadas de NGC 2579. Com o diagrama cor-cor, estimou-se a correção por avermelhamento e confirmou-se a classificação espectral das estrelas realizada por Riffel (2004).

Outro método utilizado para a estimativa da distância de NGC 2579 foi o cálculo a partir da velocidade radial V_{LSR} , isto é, a distância cinemática. A velocidade radial de um objeto está relacionada com sua distância em relação ao centro da galáxia. Então, através de um modelo de rotação para a galáxia, pode-se estimar a distância do objeto conforme sua velocidade radial. A partir do mapa de velocidade radial V_{LSR} (Seção 3.4), adotou-se uma velocidade mediana para o objeto, a qual utiliza-se para estimar a distância do mesmo até o centro galáctico e ao Sol.

Por fim, utilizando o terceiro método, obteve-se a distância de NGC 2579 utilizando o fluxo total em H_{α} , com os dados coletados em SPM através dos filtros nebulares centrados em 6563 Å (H_{α}) e 6450 Å. Utilizando a quantidade de estrelas ionizantes existem na região HII e a quantidade de fótons H_{α} observados, pode-se calcular a distância do objeto até o Sol.

4.1 Fotometria de NGC 2579

Para obtenção das magnitudes das estrelas observadas em NGC 2579, utilizou-se a PSF (*point spread function*). Sterken & Manfroid (1992) definiram a PSF como uma distribuição de radiação devido à fonte puntual em função da posição relativa ao centro da estrela na imagem fotométrica. Em outras palavras, a PSF é uma

função que representa o espalhamento da imagem da estrela. A PSF é dependente da cor, sendo necessária uma PSF para cada filtro.

Uma estrela ideal para ser adotada como modelo de criação de uma PSF deve ser completamente isolada na imagem fotométrica. Isto porém nem sempre é possível, por isso utilizou-se uma estrela o mais isolada possível para gerar a PSF para cada filtro. Estimou-se o valor do céu em quatro pontos ao redor da estrela candidata a modelo para a PSF, adotando-se o valor mediano. O desvio padrão σ do brilho do céu foi calculado utilizando Massey & Davis (1992), com

$$\sigma = \sqrt{s g_{\text{cor}} + r_{\text{cor}}^2 / g_{\text{cor}}}, \quad (4.1)$$

sendo s o nível de brilho do céu, e g_{cor} e r_{cor} o ganho e o ruído de leitura, respectivamente, calculados com a equação 2.1.

Para cada filtro utilizado foram medidas as magnitudes da estrela candidata a modelo para a PSF e das estrelas ao redor da estrela candidata, utilizando uma abertura de 4 pixels. Uma PSF preliminar foi gerada e ajustaram-se os seus parâmetros, tais como posição central das estrelas, porcentagem de dispersão, largura a meia altura (FWHM). Então, subtraiu-se a PSF gerada da imagem fotométrica, verificando-se o ajuste realizado, ou seja, observando se de fato todas as estrelas foram retiradas da imagem. Quando necessário melhora-se o ajuste eliminando da imagem todas as estrelas ao redor da estrela escolhida para a PSF e, posteriormente, criando-se uma PSF para a estrela agora completamente isolada, repetindo-se todos os passos para obtenção do resultado final da PSF.

Para as estrelas no interior da nebulosidade, recalculou-se o valor do brilho do céu, assim como o seu desvio padrão σ . As magnitudes em cada filtro das estrelas observadas em NGC 2579 foram calculadas utilizando a PSF criada anteriormente. Foram levados em consideração os diferentes valores quanto ao ganho, ruído de leitura, nível do céu e demais parâmetros, devido à época e local das coletas de dados, realizadas no OPD e no SPM.

Para relacionar as magnitudes instrumentais das estrelas de NGC 2579 com aquelas encontradas para as estrelas padrão foi necessária a correção do tamanho da abertura utilizada na obtenção dos resultados. Por fim, obteve-se a solução para as magnitudes das estrelas de NGC 2579 relacionadas com a transformação indicada pelas estrelas padrão.

4.2 Resultados da fotometria *UBVR*

As estrelas observadas na região HII NGC 2579 e utilizadas na fotometria, estão indicadas na figura 4.1. Como se pode observar no mapa de velocidade radial V_{LSR} (Figura 3.1, centro), as estrelas indicadas com números de 1 a 5 se encontram em uma região de aproximadamente mesma velocidade radial, indicando que essas estrelas devem possuir a mesma distância até o Sol e, conseqüentemente, fazem parte de NGC 2579.

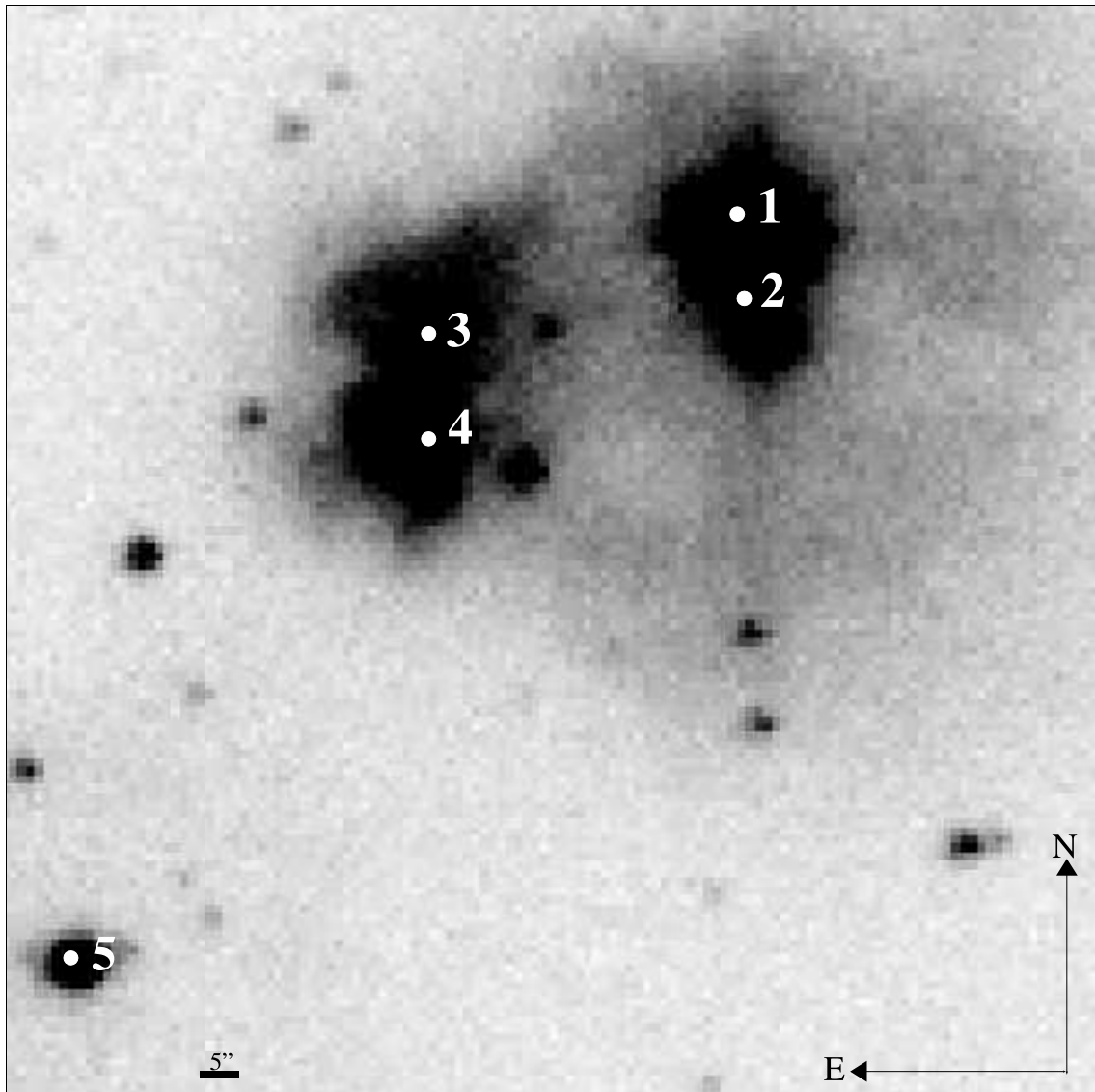


Figura 4.1: Esquema das estrelas visíveis de NGC 2579 para a fotometria. Imagem observada utilizando câmera direta com CCD acoplados ao telescópio de 0,60m do Observatório Pico dos Dias (OPD), sem utilização de filtro.

Os dados obtidos utilizando a fotometria $UBVR$ estão indicados na tabela 4.1, onde o número de identificação da estrela mostrado na figura 4.1 é dado na primeira coluna; a magnitude aparente visual (V), na segunda; os índices de cor ($U - B$), ($B - V$) e ($V - R$), na terceira, quarta e quinta colunas, respectivamente; e, finalmente, o nome da estrela segundo o catálogo de Van den Bergh & Herbst (1975), na sexta coluna.

Tabela 4.1: Dados medidos por fotometria $UBVR$ para as estrelas na região H II NGC 2579, em magnitudes.

N	V	$(U - B)$	$(B - V)$	$(V - R)$	Nome
1	$10,385 \pm 0,008$	$1,377 \pm 0,024$	$1,553 \pm 0,017$	$2,685 \pm 0,015$	CD-35 4502
2	$13,055 \pm 0,015$	$-0,104 \pm 0,036$	$0,934 \pm 0,029$	$2,456 \pm 0,011$	VdBH 13a B
3	$13,607 \pm 0,012$	$-0,237 \pm 0,036$	$1,038 \pm 0,026$	$2,586 \pm 0,019$	VdBH 13b A
4	$13,910 \pm 0,034$	$-0,099 \pm 0,084$	$1,028 \pm 0,072$	$2,607 \pm 0,031$	
5	$13,748 \pm 0,004$	$-0,184 \pm 0,019$	$0,958 \pm 0,008$	$2,486 \pm 0,006$	VdBH 13c A

A magnitude aparente no filtro U foi calculada utilizando os dados coletados no SPM. Por diversos problemas ocorridos nesta coleta dos dados, entre eles problemas de flat-fields e elevado *seeing*, as imagens nos demais filtros ($BVRI$) foram descartadas. As imagens no filtro U não apresentavam problemas.

Riffel (2004), utilizando a espectroscopia das estrelas, estimou a classe espectral e luminosidade para as estrelas de 1 a 4. Esta classificação será adotada para o cálculo da distância fotométrica. Não foi realizada a classificação para a estrela de número 5, porém é possível utilizar um diagrama cor-cor, para os índices de cor ($U - B$) e ($B - V$), para estimar sua classificação espectral por fotometria. A confirmação fotométrica da classificação realizada por Riffel (2004), para as estrelas de 1 a 4, pode ser igualmente realizada com um diagrama cor-cor $(U - B) \times (B - V)$.

Os valores utilizados para NGC 2579 na construção do diagrama cor-cor estão representados na tabela 4.1, na terceira e quarta coluna. A figura 4.2 representa o diagrama cor-cor para estrelas na seqüência principal, enquanto que a figura 4.3 o representa para as estrelas da classe das gigantes. As curvas de linha contínua com marcações de pontos em cada figura, foram obtidas com os dados de Lang (1991) para os índices de cor intrínsecos das estrelas da seqüência principal e da classe das gigantes.

Da figura 4.2 é possível verificar que a classificação espectroscópica está correta, pois as estrelas 2, 3 e 4 interceptam a curva de cores intrínsecas na região das estrelas do tipo O. Para a estrela de número 5, a reta de correção do avermelhamento indica

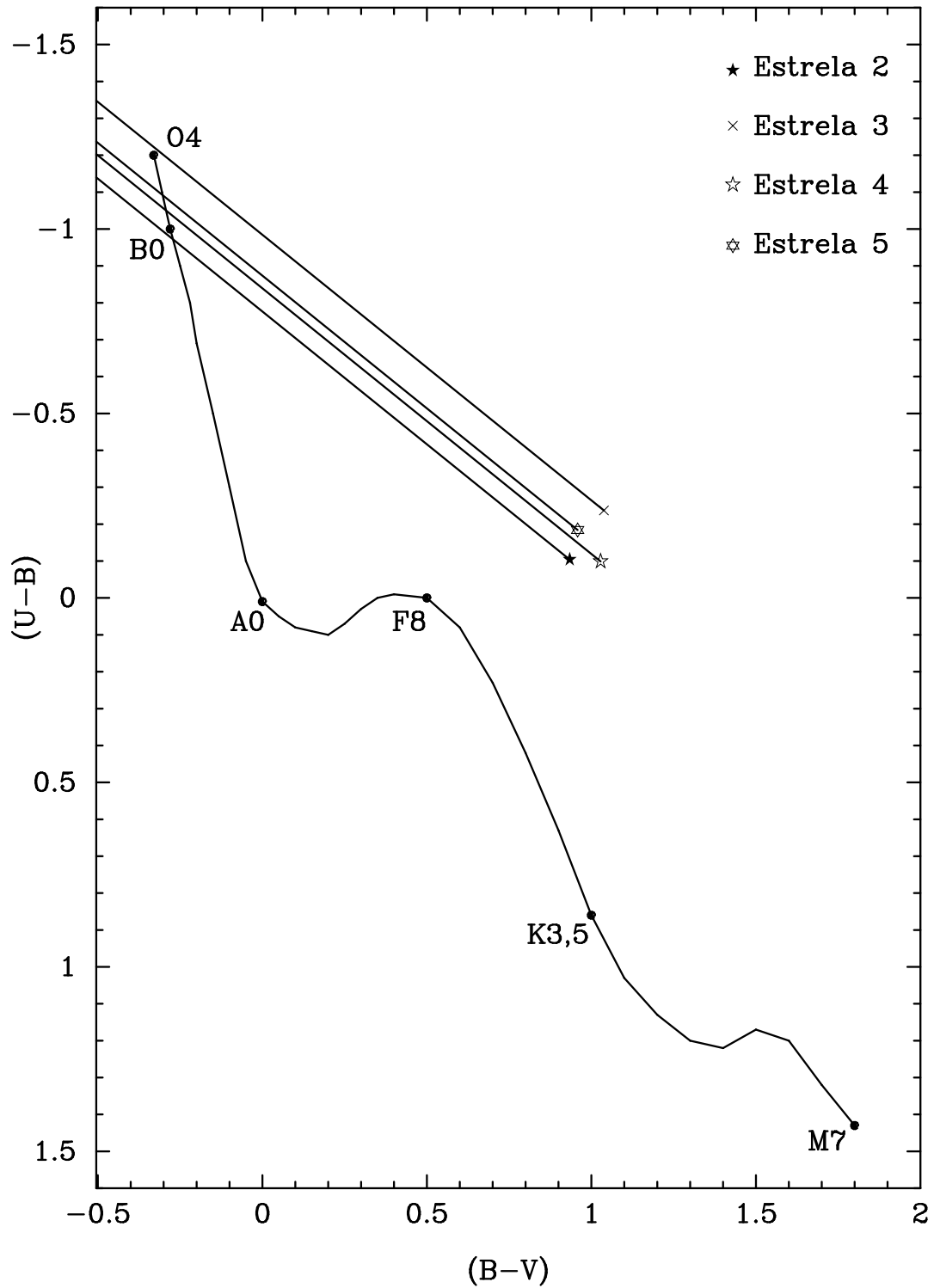


Figura 4.2: Diagrama cor-cor para estrelas da sequência principal com as estrelas ionizantes da região HII NGC 2579.

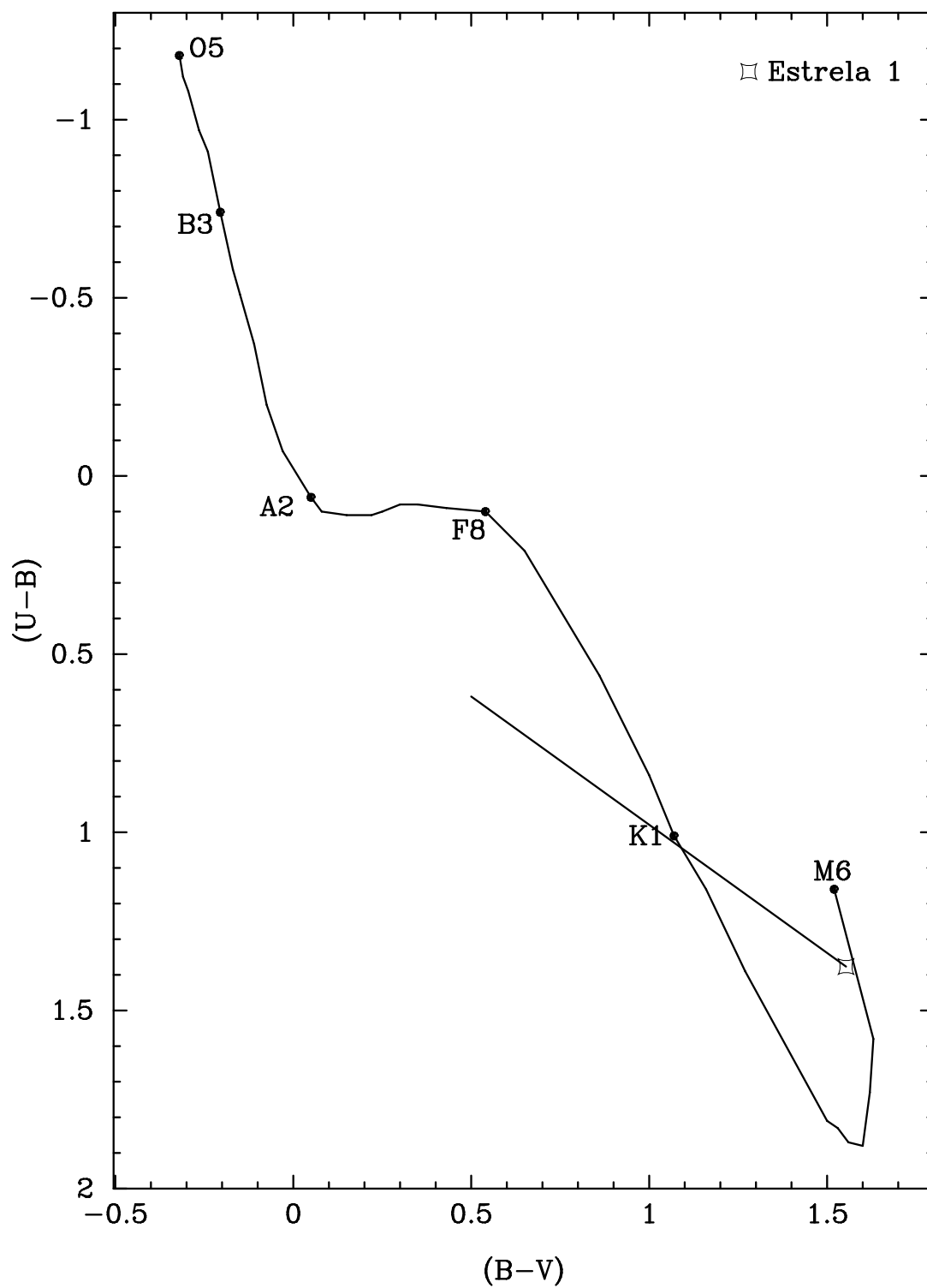


Figura 4.3: Diagrama cor-cor para estrelas da classe das gigantes com a estrela K1 III observada na região HII NGC 2579.

um tipo espectral O9. Embora esta classificação não seja definitiva, será utilizada no cálculo da distância.

Na figura 4.3 tem-se que a estrela número 1, representada na figura por uma estrela próxima do final da curva de cores intrínsecas, está na região esperada pela sua classificação espectrocópica, acima da curva teórica e próxima da região das estrelas do tipo K. Visto que o avermelhamento sofrido por esta estrela é menor em comparação às demais estrelas observadas, sua posição no diagrama cor-cor é mais próxima da curva.

Tendo-se os tipos espectrais das estrelas observadas em NGC 2579, é possível utilizar o índice de cor ($B - V$) intrínseco e a magnitude absoluta no filtro V , apresentados na tabela 4.2, para a estimativa da distância de NGC 2579.

Tabela 4.2: Magnitude absoluta visual e índice de cor intrínseco ($B - V$) para as classes espectrais das estrelas em NGC 2579. Classificação espectral das estrelas de 1 a 4 por Riffel (2004).

Número	Tipo espectral	M_V^a	$(B - V)^a$
1	K1 III	0,6	1,07
2	O5 V	-5,7	-0,33
3	O6,5 V	-5,3	-0,32
4	O8 V	-4,9	-0,32
5	O9 V	-4,5	-0,31

^aLang (1991)

O excesso de cor $E(B - V)$ representa a correção por avermelhamento, ou ainda, o deslocamento no eixo horizontal do diagrama $(B - V) \times (U - B)$, dado por:

$$E(B - V) = (B - V)_{\text{obs}} - (B - V)_{\text{int}}, \quad (4.2)$$

sendo $(B - V)_{\text{obs}}$ o índice de cor dos dados observados e $(B - V)_{\text{int}}$ o índice de cor intrínseco.

Substituindo o coeficiente de absorção na banda V (A_V), dado pela equação 1.6, na equação 1.5 do módulo da distância e reescrevendo esta última, tem-se

$$d = 10^{[m_V - M_V + 5 - R_V E(B - V)]/5}. \quad (4.3)$$

sendo d a distância heliocêntrica em parsecs, m_V a magnitude aparente, M_V a magnitude absoluta, R_V a razão entre a extinção total e a seletiva todos para o visual.

Para o cálculo da distância, adotou-se R_V de 3,1, conforme indicado por Lahulla (1987). As magnitudes aparente e absoluta utilizadas estão indicadas nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente. As distâncias d indicadas na tabela 4.3 são heliocêntricas, ou seja, correspondem às distâncias das estrelas até o Sol.

Tabela 4.3: Excesso de cor $E(B - V)$ e distâncias heliocêntricas estimadas para as estrelas individuais da região HII NGC 2579.

Número	$E(B - V)$ [mag]	d [kpc]
1	$0,483 \pm 0,017$	$0,45 \pm 0,01$
2	$1,264 \pm 0,029$	$9,27 \pm 0,19$
3	$1,358 \pm 0,026$	$8,69 \pm 0,15$
4	$1,348 \pm 0,072$	$8,44 \pm 0,41$
5	$1,268 \pm 0,008$	$7,30 \pm 0,04$

Observa-se da tabela 4.3 que existe uma boa concordância entre os valores de distância d encontrados para as estrelas de números 2, 3, 4 e 5. Para a estrela de número 1, gigante de classe III, utilizou-se a lei de avermelhamento das demais estrelas para a estimativa da distância, comprovando que esta é uma estrela de campo à frente de NGC 2579, tendo em vista sua distância inferior com relação às demais estrelas.

Para NGC 2579, obteve-se uma extinção média $A_V = 4,06$ mag e uma distância média de $8,42 \pm 0,48$ kpc do Sol. Visto que o complexo RCW 19/20 possui uma distância estimada aproximada de 3,0 kpc (NECKEL & STAUDE, 1995), NGC 2579 não pertence a este complexo, como suposto por Georgelin *et al.* (1973) e Moffat *et al.* (1979).

Através da longitude galáctica de NGC 2579 ($l = 254,67^\circ$), observa-se que esta região HII está na direção do anticentro galáctico (GEORGELIN & GEORGELIN, 1971), isto é, em uma posição mais externa em relação ao centro galáctico do que a órbita do Sol.

Para o cálculo da distância em relação ao centro galáctico, utilizou-se

$$R = \sqrt{d^2 \cos^2 b + R_o^2 - 2 R_o d \cos b \cos l}. \quad (4.4)$$

sendo R a distância até o centro da galáxia, d a distância heliocêntrica, R_o a distância do Sol até o centro da galáxia, l e b a longitude e a latitude, respectivamente, nas coordenadas galácticas.

Com R_o de 8,5 kpc, obteve-se a distância média de aproximadamente $13,45 \pm$

0,38 kpc do centro da galáxia para a região HII NGC 2579.

4.3 Distância cinemática

A distância cinemática é estimada através de uma lei de rotação da galáxia e da medida da velocidade radial do objeto. Na seção 3.4, calculou-se a velocidade em cada ponto de NGC 2579 através do deslocamento Doppler da linha H_α . Utilizou-se o modelo de Brand & Blitz (1993) para a rotação da Via Láctea, onde assumiu-se uma distância Sol-centro galáctico $R_o = 8,5$ kpc e uma velocidade de rotação solar em relação ao centro galáctico $\Theta_o = 220$ km s⁻¹. Deste modelo, tem-se:

$$V_{\text{LSR}} = \left(\frac{\Theta R_o}{R} - \Theta_o \right) \sin l \cos b, \quad (4.5)$$

$$\frac{\Theta}{\Theta_o} = a_1 \frac{R}{R_o}^{a_2} + a_3 \Theta_o, \quad (4.6)$$

sendo l a longitude e b a latitude galáctica do objeto, Θ a velocidade de rotação do objeto, V_{LSR} a velocidade radial do objeto, R a distância do objeto até o centro da galáxia e a_1 , a_2 e a_3 os parâmetros de ajustes da curva de rotação.

Brand & Blitz (1993) encontraram o melhor ajuste para a curva de rotação com os valores de $a_1 = 1,00767$; $a_2 = 0,0394$ e $a_3 = 0,00712$. Então, utilizando-se do valor mediano para velocidade radial V_{LSR} de NGC 2579 igual a $62,87 \pm 1,91$ km s⁻¹, e o substituindo nas equações 4.5 e 4.6, obtem-se a distância do objeto de estudo até o centro da Galáxia. O valor estimado foi de $12,44 \pm 2,34$ kpc. Para a distância heliocêntrica d , o valor encontrado utilizando a equação 4.4 foi $7,11 \pm 2,40$ kpc.

As distâncias estimadas por este método estão de acordo com os valores calculados pela fotometria de NGC 2579 (Seção 4.2). Também estão de acordo com a distância calculada por Brand & Blitz (1993) para a nuvem molecular próxima a NGC 2579, identificada como BW 138, cuja distância R estimada foi em $11,43 \pm 2,33$ kpc a partir de uma medida da velocidade V_{LSR} de $68,2 \pm 0,3$ km s⁻¹.

4.4 Distância via fluxo em H_α

A luminosidade medida em H_β se relaciona com o número de fótons ionizantes emitidos pelas estrelas de uma região HII, segundo a equação (OSTERBROCK, 1989)

$$Q(H^0) = \frac{\alpha_B(H^0, T)}{\alpha_{H_\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)} \frac{L(H_\beta)}{h\nu_{H_\beta}} 10^{C(H_\beta)}, \quad (4.7)$$

sendo $\alpha_B(H^0, T)$ o coeficiente de recombinação a todos os níveis do hidrogênio, exceto ao nível fundamental, $\alpha_{H\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)$ o coeficiente de recombinação efetivo de H_β , $h\nu_{H\beta}$ energia dos fótons emitidos devido a transições radiativas do nível 4 para o 2 (H_β) e $C(H_\beta)$ o coeficiente de correção por avermelhamento. Sendo que o fluxo de uma estrela a uma distância d se relaciona com a luminosidade desta segundo

$$F(d) = \frac{L}{4\pi d^2}, \quad (4.8)$$

a equação 4.7 pode ser reescrita em termos do fluxo em H_β e da distância ao objeto utilizando a relação 4.8, como

$$Q(H^0) = \frac{\alpha_B(H^0, T)}{\alpha_{H\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)} \frac{4\pi d^2 F(H_\beta)}{h\nu_{H\beta}} 10^{C(H_\beta)}, \quad (4.9)$$

ou ainda,

$$d = \sqrt{\frac{\alpha_{H\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)}{\alpha_B(H^0, T)} \frac{h\nu_{H\beta}}{4\pi F(H_\beta)} \frac{Q(H^0)}{10^{C(H_\beta)}}}. \quad (4.10)$$

Os valores de $\alpha_B(H^0, T)$ e $\alpha_{H\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)$ foram adotados para o caso de uma região HII onde não existem fótons ionizantes sainda da nebulosa, caso B em Osterbrock (1989), para uma temperatura eletrônica de 10000 K. Os valores utilizados para $Q(H^0)$ são de Schaerer & Koter (1997). Foram somados os valores individuais de $Q(H^0)$ de cada estrela identificada sobre NGC 2579. O valor de $F(H_\beta)$ utilizado foi o estimado pelas imagens obtidas no SPM com filtro centrado em H_α e em 6450 Å, utilizando

$$\frac{I_{H\alpha}}{I_{H\beta}} = \frac{I_{H\alpha}^o}{I_{H\beta}^o} 10^{-C(H_\beta) \frac{f(H_\alpha) - f(H_\beta)}{f(H_\beta)}}, \quad (4.11)$$

sendo $I_{H\alpha}$ a intensidade do fluxo medido em H_α , $I_{H\beta}$ a intensidade instrumental de H_β , $I_{H\alpha}^o/I_{H\beta}^o$ a razão corrigida de H_α e H_β , $f(\lambda)$ a dependência da extinção com o comprimento de onda.

Isolando $I_{H\beta}$ e substituindo $I_{H\alpha}^o/I_{H\beta}^o$ por 2,86, tem-se

$$I_{H\beta} = \frac{I_{H\alpha}}{2,86 \times 10^{-C(H_\beta) \frac{f(H_\alpha) - f(H_\beta)}{f(H_\beta)}}}. \quad (4.12)$$

Utilizou-se os valores de $f(H_\alpha)$ e $f(H_\beta)$ indicados em Osterbrock (1989) e $C(H_\beta)$ igual a

$$C(H_\beta) = 1,5 \times E(B - V) = 1,964. \quad (4.13)$$

Para as imagens fotométricas com um filtro centrado em H_α e outro centrado em 6450 Å foram medidas as contagens totais nas imagens para a região H II NGC 2579 e a estrela padrão Feige 34 estimando o fluxo total em H_α . A largura efetiva e a transmissão máxima para cada filtro utilizado estão representadas na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Dados sobre os filtros centrados em H_α e em 6450 Å.

Filtro	Comprimento de onda central [Å]	Largura Efetiva [Å]	Transmissão Máxima [%]	Largura da Banda [Å]
H_α	6563	5,4	66,4	9,8
6450 Å	6450	113,6	95,0	127

Devido ao grande valor da largura de banda do filtro centrado em 6450 Å as linhas de emissão da nebulosa captadas pelo detector, ([SIII] λ 6312, [NII] λ 6548, [NII] λ 6583, além da própria linha H_α) devem ser consideradas nos cálculos de fluxo total em H_α . Para a padrão não existem linhas de emissão, apenas uma linha de absorção em H_α que também deve ser levada em consideração. Por outro lado, para o filtro centrado em H_α , que é bastante estreito, não existem outras linhas de emissão sendo captadas pelo detector.

Para um procedimento semelhante ao utilizado por Copetti & Dottori (1989) foi possível montar equações relacionando os valores das contagens medidas nas imagens fotométricas com o fluxo de cada linha observada. De Riffel (2004) estimou-se a relação entre as várias linhas de emissão da nebulosa com a linha H_α , observadas pelo filtro centrado em 6450 Å. Considerou-se a variação na transmissão para o filtro em cada uma destas linhas. Nas expressões 4.14 e 4.15 abaixo tem-se a relação entre as contagens e os fluxos, onde o índice * se refere à estrela padrão.

$$\begin{aligned} C_{6450}^* &= \alpha \left[\Delta\lambda_{6450} F_{6450}^{C*} + T_{H_\alpha}^F \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{H_\alpha}} F_{H_\alpha}^* \right] \\ C_{H_\alpha}^* &= \alpha \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{H_\alpha}} T_{H_\alpha}^F F_{H_\alpha}^* \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} C_{6450} &= \beta \left[\Delta\lambda_{6450} F_{6450}^C + B + D + E + F \right] \\ C_{H_\alpha} &= \beta \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{H_\alpha}} \left[\Delta\lambda_{H_\alpha} F_{H_\alpha}^C + T_{H_\alpha}^F F_{H_\alpha} \right] \end{aligned} \quad (4.15)$$

com,

$$\begin{aligned} B &= T_{6312}^F \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{6313}} 4,406 \times 10^{-3} F_{H_\alpha} & D &= T_{6548}^F \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{6548}} 2,903 \times 10^{-2} F_{H_\alpha} \\ E &= T_{H_\alpha}^F \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{H_\alpha}} F_{H_\alpha} & F &= T_{6583}^F \frac{h\nu_{6450}}{h\nu_{6583}} 9,566 \times 10^{-2} F_{H_\alpha} \\ \alpha &= Q_{6450} T_{6450}^a T_{6450}^o \frac{A}{h\nu_{6450}} & \beta &= Q_{6450} T_{6450}^{a'} T_{6450}^o \frac{A}{h\nu_{6450}} \end{aligned}$$

sendo C_i a medida em contagens do filtro i , F_λ o fluxo da linha λ , F_i^C o fluxo do contínuo transmitido pelo filtro i , $h\nu_\lambda$ a energia dos fótons de comprimento de onda λ , T_λ^i a transmissão do filtro i no comprimento de onda λ , $\Delta\lambda_i$ a largura efetiva para o filtro i , Q_λ a eficiência quântica do detector, T_λ^a a transmissão atmosférica, T_λ^o a transmissão ótica do telescópio e A a área efetiva do telescópio.

Para o equipamento utilizado, tem-se que $Q_{6450} \approx Q_{H_\alpha}$ e $T_{6450}^o = T_{H_\alpha}^o$, e para o mesmo objeto tem-se $T_{6450}^a \approx T_{H_\alpha}^a$, diferindo apenas quanto a massa de ar durante a observação.

O procedimento consiste em determinar a constante de proporcionalidade α para a padrão, pois o fluxo F é conhecido e tabelado, e depois estimar o fluxo em H_α da região HII. Porém, devido às diferenças nas massas de ar durante as observações da padrão e da nebulosa, as constantes de proporcionalidade α e β não são iguais, mas podem ser estimadas igualando os termos indicados acima, e então

$$\frac{\alpha}{T_{6450}^a} = \frac{\beta}{T_{6450}^{a'}}$$

$$\alpha = \beta \frac{0,96}{0,91}. \quad (4.16)$$

Optou-se por realizar os cálculos de duas maneiras: 1) fotometria integrada em toda a região HII sem retirar as estrelas ionizantes da imagem de NGC 2579, utilizando a rotina *polyphot* do pacote *noao.digiphot.apphot*, que realiza a fotometria em um polígono delimitado pelo usuário e 2) mesmo procedimento anterior, porém com a retirada prévia das estrelas percebidas na imagem da região HII com a tarefa *imedit*.

Obteve-se o valor de $\log F_{H_\alpha}$ de -9,56 e -9,63 com os fluxos dados em unidades de $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, com e sem as estrelas na imagem de NGC 2579, respectivamente. Utilizando a equação 4.12, pode-se estimar o fluxo em H_β , sendo $\log F_{H_\beta}$ igual a -10,59, para a imagem com as estrelas, e -10,67 sem as estrelas na imagem de NGC 2579, em ambos o fluxo é dado em unidades de $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Copetti (2000) obteve $\log F_{H_\beta} = -10,72$ com o fluxo dado em unidades de $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Embora o autor tenha utilizado um método diferente para a observação, o valor estimado está muito próximo ao estimado neste trabalho.

Substituindo os valores estimados pela fotometria com os filtros nebulares na equação 4.10, foi possível estimar a distância de NGC 2579, conforme indicado na tabela 4.5.

Os valores encontrados para CE (com as estrelas visíveis na imagem) e SE (sem

Tabela 4.5: Distância estimada via fluxo em H_α para NGC 2579, com as estrelas visíveis na imagem (CE) e sem as estrelas visíveis na imagem (SE).

Situação	$\log F_{H_\alpha}$	d [kpc]
CE	-9,56	$9,65 \pm 0,95$
SE	-9,63	$10,53 \pm 1,03$

as estrelas visíveis na imagem) são compatíveis entre si e ainda confirmam os valores de distância obtidos anteriormente (Seções 4.2 e 4.3). O valor encontrado utilizando o fluxo estimado por Copetti (2000) foi ligeiramente superior aos anteriores (11,11 kpc), mas dentro do esperado. Provavelmente, o valor estimado para a estrela mais brilhante estava ligeiramente superior ao real.

Os erros calculados por propagação de erros aleatórios estão subestimados, pois em sua estimativa não foi possível calcular os erros referentes aos valores de $Q(H^0)$, de $\alpha_B(H^0, T)$ e de $\alpha_{H_\beta}^{\text{eff}}(H^0, T)$. Além da existência de erros sistemáticos, que não é possível estimar.

Riffel (2004) utilizou o valor de $C(H_\beta)$ estimado espectroscopicamente, com as linhas de emissão de suas observações espectroscópicas, e o fluxo em H_β estimado por Copetti (2000). O valor encontrado para a distância de NGC 2579 foi muito elevado (26 kpc). Visto que o fluxo em H_β está consistente com o calculado neste trabalho, tem-se que o coeficiente de correção por avermelhamento $C(H_\beta)$ estimado por Riffel (2004) não representa o valor real para toda a nebulosa. Isto porque as exposições realizadas por Riffel (2004) se concentraram sobre as estrelas mais brilhantes percebidas em NGC 2579 e, conseqüentemente, geram um valor de $C(H_\beta)$ local.

4.5 Comparação entre as distâncias calculadas pelos três métodos

Como comparação inicial optou-se pela resolução da equação 4.9 utilizando as distâncias estimadas pela fotometria $UBVR$ e pela velocidade radial, e verificar a quantidade total de fótons ionizantes emitidos pela região HII NGC 2579. Os valores encontrados estão na tabela 4.6.

Calculando o valor de $Q(H_{\text{total}}^0)$ para as estrelas ionizantes de NGC 2579, seguindo a classificação espectral de Riffel (2004) para as estrelas 2 a 4 e sendo a estrela 5 do

Tabela 4.6: Quantidade total de fótons ionizantes para NGC 2579 conforme a distância e a presença (CE) ou ausência (SE) das estrelas ionizantes nas imagens fotométricas.

d [kpc]	Situação	$\log(Q(H^0)/s^{-1})$
8,42	CE	49,61
	SE	49,54
7,11	CE	49,47
	SE	49,39

tipo espectral O9 V, encontra-se $\log(Q(H^0)/s^{-1}) = 49,73$. Os valores individuais de $Q(H^0)$ estão indicados em Schaerer & Koter (1997). Comparando este resultado com os valores da tabela 4.6, tem-se que $Q(H^0)$ calculado segundo as distância de NGC 2579 estimados pelos outros métodos são consistentes com os tipos espectrais das estrelas ionizantes da região H II.

Por fim, a tabela 4.7 compara os valores estimados para a distância de NGC 2579 segundo os métodos utilizados.

Tabela 4.7: Distância de NGC 2579 em relação ao Sol (d) e em relação ao centro Galáctico (R), calculada a partir dos métodos utilizados.

Método Utilizado		d [kpc]	R [kpc]
Fotometria $UBVR$		8,42	13,45
Distância cinemática		7,11	12,44
Fluxo em H_α	CE	9,65	14,44
	SE	10,53	15,18

As diferenças entre os valores encontrados para a distância com os diferentes métodos são pequenas, principalmente considerando que distâncias cinemáticas podem apresentar erros de 1 kpc, ou mais, em relação aos demais métodos (VOGT & MOFFAT, 1975).

Como resultado final de distância do objeto optou-se por utilizar a distância fotométrica, pois esta possui a maior precisão nos cálculos. Então tem-se que NGC 2579 está a uma distância heliocêntrica de $8,42 \pm 0,48$ e uma distância do centro da Via Láctea de $13,45 \pm 0,38$.

No capítulo seguinte apresenta-se as considerações finais deste trabalho e as perspectivas futuras de trabalho.

Capítulo 5

Considerações Finais

A densidade eletrônica foi estimada em 750 pontos sobre NGC 2579, sendo possível observar uma acentuada variação de densidade eletrônica N_e de aproximadamente $1\,900\text{ cm}^{-3}$ no centro da região HII e chegando a valores próximos de 70 cm^{-3} nas partes mais externas da nebulosa.

Com a construção de um mapa de densidade eletrônica de resolução $5'' \times 5''$, o gradiente de densidade eletrônica pôde ser observado, verificando-se uma variação mais acentuada na direção Oeste. Na direção Leste, existe uma interrupção brusca nos valores de densidade eletrônica medidos, indicando a existência de uma nuvem molecular que dificulta o deslocamento do gás ionizado. Brand & Blitz (1993) identificaram uma nuvem molecular nestas coordenadas, denominada de BBW 138. Esta variação na densidade eletrônica segundo a direção sobre NGC 2579 caracteriza o efeito *champagne*, que também pode ser observado no mapa de velocidade radial.

Outro resultado importante foi a verificação de que a nebulosidade a sudeste de NGC 2579 (Figura 1.3), denominada de PN G254.6+00.2 está fisicamente associada a este objeto, pois possui a mesma velocidade do conjunto, conforme pode ser observado no mapa de velocidade radial (Figura 3.1, base), e, conseqüentemente, à mesma distância.

Estimaram-se as magnitudes aparentes na banda V e os índices de cor $(U - B)$, $(B - V)$ e $(V - R)$ para as estrelas observadas de NGC 2579. A distância fotométrica foi estimada com a utilização do módulo da distância de NGC 2579. Estimou-se a distância cinemática com o modelo de rotação da galáxia de Brand & Blitz (1993) e a velocidade radial calculada do deslocamento Doppler da linha H_α . A distância segundo fluxo em H_α foi estimada com filtros nebulares centrados em H_α e 6450 \AA . Como resultado final de distância obteve-se um valor de aproximadamente $8,47 \pm 1,49$ kpc de distância heliocêntrica e cerca de $13,49 \pm 1,19$ kpc de distância ao centro

da Via Láctea.

Com o presente estudo finaliza-se o projeto de caracterização de NGC 2579 com a determinação de sua distância em relação ao Sol e ao centro galáctico e da criação de mapas de densidade eletrônica e velocidade radial. Este projeto foi iniciado por Copetti *et al.* (2000) e teve uma continuidade com Riffel (2004).

Para estudos futuros, observa-se a necessidade de criação de mapas de densidade eletrônica e velocidade para outras nebulosas, visando a uma melhor caracterização do gradiente de densidade eletrônica e da distribuição de velocidade sobre o objeto.

Referências Bibliográficas

BEVINGTON, P.R. **Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences**. New York, NY : McGraw-Hill Book Company, 1969.p336.

BOWERS, R.L.; DEEMING, T. **Astrophysics I: Stars**. London, GB: Ed. Jones and Bartlett Publishers International, 1984.

BRAND, J.; BLITZ, L. **Astronomy and Astrophysics**, 275 : 67-90, 1993.

COPETTI, M.V.F.; DOTTORI, H.A. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, 77 : 327-331, 1989.

COPETTI, M.V.F. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, 147 : 93-97, 2000.

COPETTI, M.V.F.; MALLMANN, J.A.H.; SCHMIDT, A.A.; CASTAÑEDA, H.O. **Astronomy and Astrophysics**, 357 : 621-636, 2000.

COPETTI, M.V.F.; WRITZL, B.C. **Astronomy and Astrophysics**, 382 : 282-290, 2002.

CUESTA, L.; PHILLIPS, J. P. **The Astronomical Journal**, 120 : 2661-2669, 2000.

GALADÍ-ENRÍQUEZ, D.; TRULLOLS, E.; JORDI, C. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, 146 : 169-177, 2000.

GEORGELIN, Y.P.; GEORGELIN, Y.M. **Astronomy and Astrophysics**, 12 : 482-487, 1971.

GEORGELIN, Y.M.; GEORGELIN, Y.P.; ROUX, S. **Astronomy and Astrophysics**, 25 : 337-350, 1973

LAHULLA, J.F. **Astronomical Journal**, vol 94, 4 : 1062-1065, 1987.

LANDOLT, A.U. **Astronomical Journal**, vol 104, 1 : 340-371,436-491, 1992.

LANG, K.R.; **Astrophysical Data: Planets and Stars**. New York, NY : Springer-Verlag, 1991. p937.

- LINDOFF, U. **Arkiv för Astronomi**, 5 : 63-103, 1974.
- MASSEY, P.; DAVIS, L.E.; **A User's Guide to Stellar CCD Photometry with IRAF**, 1992. p69. mimeografado.
- MOFFAT, A.F.J.; FITZGERALD, M.P.; JACKSON, P.D.; **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, 38 : 197-225, 1979.
- NICKEL, Th.; STAUDE, H.J.; **The Astronomical Journal**, 448 : 832-847, 1995.
- OSTERBROCK, D.E. **Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei**. Mill Valey, CA : University Science Books, 1989. p408.
- PHILLIPS, J. P.; CUESTA, L. **The Astronomical Journal**, 118 : 2919-2928, 1999.
- RIFFEL, R. **Estudo da Região HII Galática NGC 2579**. Santa Maria:UFSM, 2004, 68. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- SCHAERER, D.; KOTER, A. **Astronomy and Astrophysics**, 322 : 598-614, 1997.
- STERKEN, C.; MANFROID, J.; **Astronomical Photometry**. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1992.p272.
- STRÖMGREN, B. **Astrophysics Journal**, 89 : 526-547, 1939.
- TENORIO-TAGLE, G. **Astronomy and Astrophysics**, 71 : 59-65, 1979.
- VAN DEN BERGHT, S.; HERBEST,W. **Astronomical Journal**, vol 80 : 208-211, 1975.
- VOGT, N.; MOFFAT, A.F.J. **Astronomy and Astrophysics**, 45 : 405-409, 1975.

Apêndice A

Procedimentos para Redução e Análise dos Dados Fotométricos

Os procedimentos e rotinas do **IRAF** utilizados para a redução dos dados fotométricos, assim como, para a criação da PSF e a análise dos resultados obtidos, estão descritos nas seções seguintes de forma detalhada.

A.1 Redução dos dados

Para a redução dos dados utilizou-se o pacote *noao.imred.ccdred* e, inicialmente, com a tarefa **implot** delimitou-se a área do CCD com os dados úteis e a área de *overscan*. Estes valores foram utilizados como parâmetros de configuração da rotina **setinstrument**, assim como o instrumento utilizado, para os dados fotométricos este foi configurado como **DIRECT**.

Com a tarefa **zerocombine**, realizou-se a média das imagens dos *bias*. A rotina **ccdproc** foi utilizada para subtrair este resultado das imagens de NGC 2579 e das estrelas padrão (região SA 99 e 106, Feige 34 e os campos PG0918+029 e PG1323-086). Como configuração adicional da rotina **ccdproc** optou-se pela utilização do *overscan* de forma interativa.

Com a rotina **flatcombine** foi realizada a média dos *flat-fields*, e este resultado foi utilizado para a divisão das imagens de NGC 2579 e das estrelas padrão (rotina **ccdproc**). Para os *flat-fields* é necessária a realização destes procedimentos separadamente para cada filtro observado (*UBVR* e nebulares).

Para verificar o deslocamento entre duas imagens no mesmo filtro e mesmo objeto, foram escolhidas, aleatoriamente, algumas estrelas nas imagens, sendo que as mesmas deveriam estar presentes em todas as imagens observadas. A tarefa **imcen-**

truid foi utilizada para estimar o deslocamento médio entre as imagens em relação a uma imagem escolhida como referência, a primeira da lista passada como parâmetro de entrada. A partir destes resultados, utilizando a tarefa **imshift**, deslocaram-se as imagens de NGC 2579 e das estrelas padrão, tendo como parâmetros de configuração os nomes das imagens, antes e após o deslocamento, e o valor do deslocamento na direção horizontal (XSHIFT) e na direção vertical (YSHIFT).

A combinação das imagens foi realizada com a rotina **imcombine** (pacote *images.tv*) tendo-se o cuidado de configurar a rotina para levar em consideração o tempo de observação; para tanto, na configuração utilizou-se SCALE = EXPOSURE e EXPNAME = EXPTIME. Optou-se, também, pela mediana dos pontos durante a combinação das imagens, pois assim os raios cósmicos são retirados. Em alguns casos, após este procedimento restaram alguns raios cósmicos que foram retirados interativamente utilizando a rotina **imedit**.

Utilizou-se a tarefa **hedit** para corrigir o cabeçalho das imagens quando se fez necessário. A massa de ar para o tempo médio de observação da imagem foi estimada utilizando a rotina **setairmass** do pacote *noao.astutil*. Realizou-se a inversão de todas as imagens com a tarefa **imcopy**, para uma melhor comparação com as imagens de catálogos disponíveis na literatura.

O tempo sideral (ST) não estava no cabeçalho das imagens observadas em SPM; então ele foi calculado utilizando a rotina **asttimes** do pacote *noao.astutil*, tendo como parâmetros de entrada a data da observação (dia, mês e ano), local da observação (OBSERVA = SPM) e a hora da observação. Após, adicionou-se ST ao cabeçalho, utilizando a rotina **hedit**.

A.2 Fotometria das estrelas padrão

Foram utilizados as rotinas do pacote *noao.digiphot.daophot* para calcular as magnitudes das estrelas padrão. Utilizando a tarefa **imexamine** calculou-se o FWHM para cada padrão utilizada. Como tamanho de abertura utilizada na fotometria optou-se por cinco vezes o valor de FWHM para cada filtro, como resultado final utilizou-se um tamanho de abertura médio para todos os padrões de um campo ou região. O tamanho da abertura utilizado está na configuração da rotina **photpars**.

Datapars define os parâmetros da imagem para se realizar a fotometria; utilizou-se THRESHOLD de 3,5, EPADU e RDNOISE conforme estimado com a equação 2.1. **Centerpars** define o algoritmo de centralização a ser utilizado para encontrar o centro da estrela na imagem em coordenadas horizontal e vertical; utilizou-se CALGORI

= CENTROID que centra o objeto utilizando a intensidade observada. **Fitskypars** define os parâmetros de ajuste de brilho do céu para as imagens; utilizou-se um anel em torno do objeto com uma largura (DANNULU) e um raio interno (ANNULUS) fixos em pixels.

Para as estrelas padrão nas regiões SA-106, PG0918+029, PG1323-086 e Feige 34 utilizou-se uma detecção automática, com a rotina **daofind**. Como resultado, tem-se um arquivo texto com as coordenadas das estrelas encontradas automaticamente; este arquivo texto tem extensão *.coo*. Quando necessário, foram apagadas as linhas que não representavam as estrelas de interesse ou as que estejam duplicadas, editando o arquivo texto.

A determinação das magnitudes para cada filtro foi realizada utilizando a rotina **phot**, tendo como entrada os nomes das imagens e os respectivos arquivos de coordenadas, resultando em um arquivo texto com extensão *.mag*, contendo as coordenadas centrais da estrela, sua magnitude no filtro utilizado, o erro na estimativa da magnitude, a massa de ar e a hora universal (UT) durante a observação.

Para a região SA 99, foi utilizado um método manual de fotometria, pois existem várias padrão secundária para auxiliar na análise dos dados. Então, a tarefa **daofind** não foi utilizada para esta região; utilizou-se a rotina **phot** sem o arquivo de coordenadas como parâmetro de entrada e optando por interatividade do processo. Visualizando a imagem, aponta-se para a estrela de interesse, padrão de Landolt ou secundária, e realiza-se a fotometria interativamente. Repete-se este procedimento para todas as estrelas de interesse

Utilizou-se o pacote *noao.digiphot.photcal* para a criação de um catálogo com os valores da literatura para as magnitudes e cores das estrelas padrão utilizadas. Este procedimento foi realizado apenas para as imagens nos filtros *UBVR*, pois para os filtros nebulares o objetivo era a obtenção da contagem total sobre toda NGC 2579 e não a magnitude.

Com a rotina **mkcatalog** criou-se um catálogo com os dados tabelados para as regiões de estrelas padrão observadas. Os valores utilizados para as estrelas padrão secundária da região SA 99 foram extraídos de Galadí-Enríquez *et al.* (2000).

Criou-se um arquivo texto relacionando as imagens de cada padrão com a identificação utilizada no catálogo, uma linha para cada região da estrela padrão e os filtros separados por espaço em branco. Com a rotina **mknoobsfile** criou-se um arquivo com os dados observacionais das estrelas padrão, separando as estrelas encontradas nas imagens em blocos. Como saída obtem-se o filtro utilizado, a magnitude instrumental e o erro da medida, as coordenadas (horizontais e verticais) do centro da

estrela, o UT da observação e a massa de ar.

A tarefa **mkconfig** cria um arquivo com as equações de transformação entre os valores observados e os catalogados. Para a configuração da tarefa utilizou-se equações de transformação para as estrelas padrão de Landolt para o sistema de filtros *UBVRI* (`TRANSFOR = LANDOLT`), o catálogo gerado por **mkcatalog** e o arquivo de saída da rotina **mknobsfile**. Editou-se o arquivo resultante da tarefa **mkconfig** para a retirada da equação referente ao filtro I.

Com **fitparams** ajustou-se uma curva entre os valores observados e os catalogados, obtendo como resposta as soluções para as equações de transformação. Configurou-se a rotina para dados fotométricos (`WEIGHTI = PHOTOMETRIC`), além dos parâmetros de entrada (o catálogo criado anteriormente e o arquivo de resposta das rotinas **mkconfig** e **mknobsfile**). O ajuste foi realizado iterativamente, rejeitando valores medidos não representativos. Este procedimento é realizado para a retirada da amostra de medidas contendo grande imprecisão na determinação da magnitude para determinadas estrelas, principalmente nas mais fracas e de difíceis resolução.

A.3 Fotometria do objeto

Utilizou-se o pacote *noao.digiphot.daophot* para medir as magnitudes das estrelas observadas em NGC 2579. Com **imexamine** calculou-se o FWHM para cada estrela observada na região HII. Para configurar a rotina **photpars** delimitou-se o tamanho de abertura como sendo cinco vezes o valor de FWHM para cada filtro e, como resultado final, utilizou-se um tamanho de abertura médio para todas as estrelas em um determinado filtro.

Para se gerar uma PSF deve-se definir anteriormente os parâmetros: FWHMPSF, valor médio de FWHM encontrado, é utilizado apenas para encontrar automaticamente a estrela; PSFRAD, largura da “caixa” que contenha a maior parte da luz percebida da estrela mais brilhante da amostra; FITRAD, representa a largura utilizada para ajustar o PSF à estrela (um pouco maior que o FWHM médio utilizado).

Deve-se escolher uma região na imagem que tenha uma baixa densidade de estrelas, pois a estrela candidata a PSF deve estar o mais isolada possível e ser a mais brilhante da amostra escolhida. Com a rotina **imexamine** calculou-se o FWHM para cada estrela observada na região escolhida e se definiu os parâmetros para se gerar a PSF.

As configurações das rotinas **datapars**, **centerpars** e **fitskypars** são as mesmas

utilizadas para as estrelas padrão. Para a rotina **datapars** acrescenta-se o valor do desvio padrão σ do céu (equação 4.1) e o valor de FWHMPSF. Na rotina **daopars** configura-se o PSFRAD e o FITRAD.

Utilizou-se a tarefa **daofind** para encontrar as estrelas na região escolhida na imagem. Com a imagem sendo visualizada, utiliza-se a rotina **tvmark** para marcar na tela as estrelas encontradas e indicadas no arquivo das coordenadas. Se necessário, pode-se editar o arquivo de coordenadas para retirar as linhas que não representam nenhuma estrela ou aquelas que estejam duplicadas. Após, realizou-se a fotometria com a tarefa **phot**.

Visualizando a imagem e com as estrelas marcadas, utiliza-se a rotina **psf** para se criar uma PSF para as estrelas indicadas no arquivo de saída da tarefa **phot**. Tem-se três arquivos de saída: uma imagem da PSF criada (arquivo *.fits*); uma lista das estrelas utilizadas na criação desta PSF (arquivo *.pst*); e uma lista com a estrela candidata a PSF e todas as estrelas da vizinhança, mesmo as rejeitadas pelo usuário (arquivo *.psg*).

Com a tarefa **nstar** realiza-se um ajuste da PSF para a estrela mais brilhante da amostra escolhida, gerando um arquivo texto com o ajuste da PSF (arquivo *.nst*). E com a rotina **substar** utiliza-se a PSF criada para se retirar da imagem as estrelas da amostra, tendo como resultado uma imagem sem as mesmas (arquivo *.sub.fits*). Deve-se examinar esta imagem resultante para verificar a qualidade do ajuste da PSF.

Caso ainda se tenha alguma estrela, ou parte de estrela, na imagem deve-se repetir o processo. Então, edita-se o arquivo *.nst* apagando so dados referentes a estrela candidata a PSF, deixando apenas os valores das estrelas da vizinhança, repete-se a rotina **substar** com este arquivo *.nst* alterado. Espera-se uma imagem sem as estrelas da vizinhança, apenas a estrela candidata a PSF isolada, e, então, repete-se o procedimento utilizado, desde a rotina **psf**. Como resultado final deve-se obter uma imagem completamente limpa na região escolhida inicialmente.

Este procedimento deve ser repetido para cada filtro utilizado, isto é, tem-se como resultado final uma PSF referente aos filtros *U*, *B*, *V* e *R*. Após, pode-se utilizar da PSF criada para se realizar a fotometria das estrelas observadas em NGC 2579.

Para cada estrela observada em NGC 2579 se determina o FWHM (rotina **imexamine**) e os parâmetros utilizados nas configurações das rotinas necessárias (**datapars**, **centerpars**, **fitskypars** e **daopars**). Não se realizou a detecção automática das estrelas de NGC 2579 devido à nebulosidade, por isso utilizou-se a tarefa **phot** no modo interativo.

Com a rotina **allstar** foi realizado a fotometria das estrelas observadas em NGC 2579, tendo como resultado um arquivo texto com os valores de magnitude no filtro, posição na imagem, massa de ar, etc (arquivo *.als*); e uma imagem com as estrelas observadas em NGC 2579 retiradas da imagem (arquivo *.sub.fits*). Observou-se que o melhor ajuste da PSF nas estrelas de NGC 2579 e, conseqüentemente, o melhor valor de magnitude, é encontrado quando se realiza as medidas com **allstar** individualmente para cada estrela da região HII.

O valor da magnitude estimada depende, entre outros fatores, do tamanho da abertura utilizada na fotometria. Quanto maior o tamanho da abertura menor será o valor numérico estimado de magnitude, pois maior será o fluxo estimado do objeto. Desta forma, a magnitude estimada, para uma estrela qualquer, utilizando a abertura com o tamanho que foi utilizado na fotometria da estrela padrão terá um menor valor que a magnitude estimada para esta mesma estrela, mas com a abertura do tamanho da abertura utilizada na fotometria das estrelas do objeto. Para uma comparação entre os valores de magnitudes das estrelas do objeto e da estrela padrão, deve-se estimar qual o valor necessário para equivaler as medidas em ambos os tamanhos de abertura fotométrica.

Foi realizado a fotometria da estrela candidata a modelo para a PSF com os dois tamanhos de abertura, o valor utilizado na fotometria da estrela padrão e o valor utilizado na fotometria das estrelas do objeto, para se estimar a correção do tamanho da abertura fotométrica. Como resultado final, tem-se a magnitude medida nas duas aberturas para a mesma estrela e o mesmo filtro, a diferença encontrada entre os valores, em magnitudes, é o valor da correção. Esse deve ser acrescido ao valor da magnitude calculado para as estrelas do objeto.

A.4 Solução no sistema padrão

Utilizou-se o pacote *noao.digiphot.photcal* para encontrar uma transformação ao sistema padrão. Com a rotina **psort** foi possível ordenar os dados no arquivo *.als* pela coordenada no eixo horizontal, este procedimento foi realizado apenas para padronizar o formato da resposta em todos os filtros.

Com a rotina **mkobsfile** cria-se um arquivo com os dados observados para as estrelas do objeto, como configuração identifica-se os filtros utilizados (IDFILTER), o nível de tolerância nos deslocamentos entre as imagens nos diversos filtros (TOLERAN) e o nome dos arquivos de fotometria final (arquivos *.als*). Na execução da rotina é perguntado ID para cada estrela e as imagens onde ela está presente, o

deslocamento no eixo horizontal e vertical entre os filtros e a correção da abertura para cada filtro.

A tarefa **invertfit** utiliza como parâmetros de entrada as respostas das rotinas **mkobsfile**, **mkconfig** e **fitparams** e para as coordenadas do centro da estrela estarem no arquivo final, utiliza-se `PRINT = xB,yB`. Então, obteve-se um arquivo texto com as ID das estrelas, suas coordenadas (horizontal e vertical), suas magnitudes no visual (V) e seus índices de cor ($B - V$) e ($V - R$), além dos respectivos erros. A magnitude no ultravioleta (U) foi obtida com os dados de SPM, embora utilizaram-se os mesmos métodos dos dados do OPD, os resultados foram obtidos em separado.

A.5 Fotometria das imagens com filtros nebulares

Utilizando a rotina **imexamine** determinou-se o FWHM para as estrelas observadas em NGC 2579, estimando o tamanho da abertura utilizado. Configuraram-se as rotinas **datapars** e **fitskypars** conforme os procedimentos anteriores. A tarefa **centerpars** foi configurada com `CALGORI = OFILTER`, pois desta forma a centragem do objeto é realizada a partir de FWHM já indicado na rotina **datapars**.

Do pacote *noao.digiphot.apphot* utilizou-se a rotina **polyphot** para se realizar a fotometria, pois esta rotina realiza as medidas em uma região poligonal definida pelo usuário, sendo ideal para uma fotometria integrada da região HII. Com a imagem sendo visualizada, definiram-se os vértices do polígono sobre a região de interesse e, com a tarefa **polymark**, visualizou-se o polígono e gerou-se um arquivo texto de saída que será utilizado pela rotina **polyphot** como arquivo de coordenadas.

Para a configuração da rotina **polyphot** utilizaram-se as mesmas configurações para **datapars**, **centerpars** utilizadas na fotometria das estrelas do objeto. Para **fitskypars** utilizou-se o valor de brilho do céu estimado interativamente em pontos ao redor do objeto. Como resultado, obteve-se um arquivo de saída com o fluxo total da região HII (em contagens), entre outros valores. Este procedimento foi repetido para as imagens nas quais foram retiradas as estrelas observadas em NGC 2579 com utilização da rotina **imedit**, obtendo-se o fluxo total também em contagens.

Apêndice B

Fluxos em H_{α} de NGC 2579

Os valores medidos de fluxo em H_{α} e seus respectivos erros estão apresentados nas tabelas a seguir, em unidades de $10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As linhas das tabelas representam a posição ao longo da fenda com espaçamento de $5''$, ou seja, representam os espectros unidimensionais. A primeira coluna apresenta o número da abertura, e as demais colunas indicam o valor medido para cada posição utilizada na fenda em relação à estrela de referência adotada durante a observação, em segundos de arco.

Tabela B.1: Fluxo em H α de NGC 2579, nas posições de fenda de 40 a 20 segundos de arco ao Sul da estrela de referência.

N	-40''	-35''	-20''	-25''	-20''
1	0,913 \pm 0,12	1,102 \pm 0,08	1,080 \pm 0,07	1,061 \pm 0,07	0,982 \pm 0,06
2	0,954 \pm 0,13	1,131 \pm 0,08	1,151 \pm 0,08	1,132 \pm 0,08	1,024 \pm 0,07
3	1,030 \pm 0,14	1,237 \pm 0,08	1,158 \pm 0,08	1,096 \pm 0,07	1,020 \pm 0,07
4	1,030 \pm 0,14	1,176 \pm 0,08	1,226 \pm 0,08	1,097 \pm 0,07	1,110 \pm 0,08
5	1,041 \pm 0,14	1,110 \pm 0,08	1,203 \pm 0,08	1,198 \pm 0,08	1,151 \pm 0,08
6	1,068 \pm 0,28	1,250 \pm 0,08	1,307 \pm 0,08	1,360 \pm 0,08	1,352 \pm 0,08
7	1,087 \pm 0,29	1,285 \pm 0,08	1,460 \pm 0,08	1,671 \pm 0,10	1,563 \pm 0,09
8	1,078 \pm 0,28	1,419 \pm 0,09	1,461 \pm 0,09	1,652 \pm 0,09	1,594 \pm 0,09
9	1,283 \pm 0,34	1,468 \pm 0,09	1,520 \pm 0,09	1,676 \pm 0,10	1,418 \pm 0,08
10	1,390 \pm 0,36	1,695 \pm 0,10	1,638 \pm 0,09	1,565 \pm 0,09	1,529 \pm 0,09
11	1,630 \pm 0,35	1,877 \pm 0,09	1,996 \pm 0,08	1,794 \pm 0,08	1,679 \pm 0,08
12	1,630 \pm 0,35	2,103 \pm 0,09	2,314 \pm 0,10	2,123 \pm 0,09	1,941 \pm 0,09
13	1,852 \pm 0,40	2,210 \pm 0,10	2,798 \pm 0,11	2,578 \pm 0,11	2,261 \pm 0,10
14	2,233 \pm 0,48	2,466 \pm 0,11	3,059 \pm 0,12	3,161 \pm 0,13	2,780 \pm 0,12
15	2,964 \pm 0,64	3,265 \pm 0,14	3,807 \pm 0,15	3,654 \pm 0,17	3,231 \pm 0,14
16	4,370 \pm 0,45	4,993 \pm 0,08	4,825 \pm 0,07	4,108 \pm 0,09	3,563 \pm 0,10
17	7,360 \pm 0,76	7,481 \pm 0,11	6,251 \pm 0,09	4,747 \pm 0,10	4,298 \pm 0,12
18	17,60 \pm 1,83	15,92 \pm 0,23	10,13 \pm 0,15	6,115 \pm 0,13	5,219 \pm 0,15
19	46,22 \pm 4,79	44,28 \pm 0,62	24,14 \pm 0,33	8,696 \pm 0,17	6,161 \pm 0,17
20	33,62 \pm 3,48	42,84 \pm 0,61	43,38 \pm 0,61	18,14 \pm 0,37	7,884 \pm 0,22
21	26,71 \pm 1,86	34,60 \pm 0,43	47,94 \pm 0,57	27,11 \pm 0,38	11,31 \pm 0,14
22	24,21 \pm 1,68	31,50 \pm 0,39	44,30 \pm 0,52	32,52 \pm 0,46	15,80 \pm 0,18
23	23,53 \pm 1,63	27,21 \pm 0,34	34,60 \pm 0,41	29,17 \pm 0,42	21,38 \pm 0,25
24	23,80 \pm 1,66	27,58 \pm 0,34	27,20 \pm 0,32	23,45 \pm 0,34	31,94 \pm 0,36
25	15,06 \pm 1,04	17,69 \pm 0,22	20,81 \pm 0,25	24,93 \pm 0,36	58,55 \pm 0,67
26	10,35 \pm 0,67	12,71 \pm 0,21	19,40 \pm 0,20	26,41 \pm 0,20	97,16 \pm 0,59
27	10,30 \pm 0,67	12,14 \pm 0,20	21,14 \pm 0,22	30,72 \pm 0,24	83,11 \pm 0,51
28	9,032 \pm 0,58	11,19 \pm 0,18	21,33 \pm 0,23	54,60 \pm 0,42	123,3 \pm 0,74
29	9,210 \pm 0,59	12,31 \pm 0,20	38,24 \pm 0,39	99,70 \pm 0,78	155,9 \pm 0,95
30	10,30 \pm 0,67	16,75 \pm 0,27	65,15 \pm 0,66	125,1 \pm 0,96	178,9 \pm 1,17
31	11,86 \pm 0,57	19,06 \pm 0,34	62,40 \pm 0,59	125,2 \pm 0,89	179,5 \pm 1,06

Tabela B.1: Fluxo em H α de NGC 2579, nas posições de fenda de 40 a 20 segundos de arco ao Sul da estrela de referência.

N	-40''	-35''	-20''	-25''	-20''
32	62,96 \pm 0,59	19,80 \pm 0,35	62,97 \pm 0,59	110,7 \pm 0,77	163,3 \pm 0,96
33	58,74 \pm 0,56	19,80 \pm 0,35	58,77 \pm 0,56	95,81 \pm 0,66	137,8 \pm 0,82
34	45,63 \pm 0,43	17,36 \pm 0,31	45,51 \pm 0,43	74,22 \pm 0,51	96,01 \pm 0,57
35	33,72 \pm 0,32	11,98 \pm 0,22	33,75 \pm 0,32	58,34 \pm 0,41	70,02 \pm 0,42
36	24,01 \pm 0,34	11,34 \pm 0,26	24,07 \pm 0,34	39,15 \pm 0,44	47,00 \pm 0,49
37	19,90 \pm 0,28	11,06 \pm 0,25	19,96 \pm 0,28	29,36 \pm 0,33	34,71 \pm 0,36
38	18,80 \pm 0,27	9,280 \pm 0,22	18,87 \pm 0,27	23,37 \pm 0,26	22,45 \pm 0,23
39	14,83 \pm 0,21	7,326 \pm 0,17	14,85 \pm 0,21	16,45 \pm 0,19	14,69 \pm 0,15
40	10,29 \pm 0,15	5,590 \pm 0,13	10,21 \pm 0,15	10,21 \pm 0,12	9,817 \pm 0,11
41	7,353 \pm 0,18	4,758 \pm 0,15	7,352 \pm 0,18	7,730 \pm 0,18	7,574 \pm 0,18
42	6,342 \pm 0,16	4,614 \pm 0,15	6,340 \pm 0,15	7,200 \pm 0,17	7,065 \pm 0,16
43	6,577 \pm 0,16	4,646 \pm 0,15	6,570 \pm 0,16	7,541 \pm 0,17	6,486 \pm 0,15
44	6,480 \pm 0,16	4,120 \pm 0,14	6,481 \pm 0,16	8,312 \pm 0,19	6,688 \pm 0,16
45	4,980 \pm 0,12	3,604 \pm 0,12	4,982 \pm 0,12	5,874 \pm 0,14	6,327 \pm 0,17
46	3,760 \pm 0,11	3,078 \pm 0,11	3,763 \pm 0,11	4,079 \pm 0,11	6,621 \pm 0,19
47	3,513 \pm 0,11	3,084 \pm 0,12	3,517 \pm 0,11	3,588 \pm 0,10	4,812 \pm 0,14
48	3,182 \pm 0,10	2,824 \pm 0,11	3,171 \pm 0,09	3,455 \pm 0,10	3,851 \pm 0,12
49	3,191 \pm 0,09	2,726 \pm 0,10	3,192 \pm 0,10	3,934 \pm 0,11	3,700 \pm 0,11
50	4,941 \pm 0,15	3,807 \pm 0,14	4,946 \pm 0,15	5,596 \pm 0,15	3,591 \pm 0,11

Tabela B.2: Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	-15''	-10''	-5''	0''	+5''
1	0,916 ± 0,06	1,011 ± 0,07	0,971 ± 0,07	1,098 ± 0,13	1,041 ± 0,07
2	1,102 ± 0,07	1,082 ± 0,07	0,912 ± 0,06	1,115 ± 0,13	1,018 ± 0,07
3	0,987 ± 0,07	1,044 ± 0,07	1,009 ± 0,07	1,047 ± 0,12	1,029 ± 0,07
4	1,028 ± 0,07	0,998 ± 0,06	1,010 ± 0,07	1,087 ± 0,13	1,054 ± 0,08
5	1,172 ± 0,08	1,064 ± 0,07	1,071 ± 0,07	1,131 ± 0,13	1,055 ± 0,07
6	1,224 ± 0,07	1,100 ± 0,07	1,158 ± 0,07	1,150 ± 0,14	1,061 ± 0,07
7	1,374 ± 0,08	1,271 ± 0,08	1,135 ± 0,07	1,195 ± 0,15	1,122 ± 0,07
8	1,445 ± 0,08	1,265 ± 0,07	1,186 ± 0,07	1,281 ± 0,16	1,264 ± 0,08
9	1,391 ± 0,08	1,360 ± 0,08	1,224 ± 0,07	1,433 ± 0,18	1,230 ± 0,08
10	1,582 ± 0,10	1,454 ± 0,09	1,367 ± 0,08	1,575 ± 0,19	1,363 ± 0,09
11	1,696 ± 0,08	1,586 ± 0,07	1,392 ± 0,07	1,794 ± 0,28	1,541 ± 0,07
12	1,925 ± 0,09	1,797 ± 0,09	1,753 ± 0,09	1,908 ± 0,29	1,720 ± 0,08
13	2,053 ± 0,09	1,918 ± 0,09	2,054 ± 0,10	2,241 ± 0,35	1,878 ± 0,08
14	2,477 ± 0,11	2,299 ± 0,11	2,442 ± 0,11	2,580 ± 0,40	2,644 ± 0,12
15	2,849 ± 0,13	2,520 ± 0,12	2,675 ± 0,12	3,008 ± 0,47	2,925 ± 0,13
16	3,127 ± 0,09	2,758 ± 0,08	2,998 ± 0,10	3,419 ± 0,15	3,136 ± 0,09
17	3,808 ± 0,11	3,218 ± 0,09	3,545 ± 0,10	2,374 ± 0,11	3,637 ± 0,11
18	5,009 ± 0,15	4,661 ± 0,13	4,539 ± 0,14	5,225 ± 0,23	4,558 ± 0,13
19	6,010 ± 0,18	6,695 ± 0,18	6,428 ± 0,19	6,876 ± 0,31	5,804 ± 0,17
20	7,757 ± 0,22	8,882 ± 0,24	7,139 ± 0,22	8,197 ± 0,37	7,045 ± 0,21
21	9,940 ± 0,10	9,131 ± 0,06	8,561 ± 0,05	9,781 ± 0,15	8,381 ± 0,05
22	14,73 ± 0,15	13,70 ± 0,08	14,01 ± 0,08	15,50 ± 0,23	11,10 ± 0,08
23	20,69 ± 0,20	32,41 ± 0,19	36,18 ± 0,19	39,90 ± 0,60	27,23 ± 0,15
24	42,21 ± 0,41	113,8 ± 0,65	115,2 ± 0,59	137,9 ± 2,10	82,59 ± 0,47
25	83,01 ± 0,81	254,1 ± 1,46	317,0 ± 1,63	416,4 ± 6,33	272,5 ± 1,52
26	149,6 ± 0,88	485,1 ± 2,21	641,3 ± 2,60	434,0 ± 5,68	388,7 ± 3,73
27	104,6 ± 0,61	279,0 ± 1,27	395,3 ± 1,61	491,5 ± 6,41	449,9 ± 2,24
28	127,1 ± 0,78	179,3 ± 0,82	259,7 ± 1,06	334,7 ± 4,35	328,1 ± 1,62
29	149,7 ± 0,87	133,7 ± 0,61	188,1 ± 0,76	271,1 ± 3,52	256,5 ± 1,33
30	166,9 ± 0,98	165,5 ± 0,75	205,9 ± 0,86	274,7 ± 3,57	83,24 ± 0,52

Tabela B.2: Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	-15''	-10''	-5''	0''	+5''
31	172,5 ± 1,05	182,0 ± 1,06	213,7 ± 1,11	145,0 ± 2,55	110,5 ± 1,95
32	157,7 ± 0,95	171,2 ± 0,99	186,4 ± 0,97	213,4 ± 3,81	206,6 ± 1,16
33	133,0 ± 0,80	157,1 ± 0,91	153,3 ± 0,80	172,7 ± 3,04	226,3 ± 1,26
34	95,07 ± 0,58	129,5 ± 0,75	137,2 ± 0,72	164,9 ± 2,91	241,6 ± 1,35
35	67,40 ± 0,41	90,52 ± 0,54	110,7 ± 0,58	135,4 ± 2,39	190,9 ± 1,06
36	43,04 ± 0,46	52,99 ± 0,49	57,88 ± 0,48	88,60 ± 2,51	118,3 ± 0,76
37	30,98 ± 0,34	34,47 ± 0,32	47,33 ± 0,39	66,23 ± 1,88	56,22 ± 0,36
38	18,68 ± 0,20	17,45 ± 0,16	30,54 ± 0,25	38,04 ± 1,08	34,46 ± 0,22
39	12,13 ± 0,13	11,10 ± 0,10	20,00 ± 0,16	28,37 ± 0,80	21,17 ± 0,13
40	8,601 ± 0,09	9,171 ± 0,09	15,46 ± 0,13	21,64 ± 0,61	16,37 ± 0,10
41	6,810 ± 0,17	8,100 ± 0,19	11,23 ± 0,22	14,43 ± 0,79	12,31 ± 0,24
42	6,632 ± 0,16	7,281 ± 0,17	8,621 ± 0,17	10,27 ± 0,56	79,37 ± 0,16
43	5,916 ± 0,15	6,675 ± 0,16	7,510 ± 0,15	8,244 ± 0,45	5,980 ± 0,12
44	5,684 ± 0,14	5,886 ± 0,14	6,309 ± 0,13	7,061 ± 0,39	6,009 ± 0,13
45	5,888 ± 0,14	6,207 ± 0,15	6,001 ± 0,12	6,262 ± 0,34	5,588 ± 0,11
46	6,966 ± 0,22	8,088 ± 0,25	6,432 ± 0,21	6,058 ± 0,37	5,194 ± 0,16
47	4,847 ± 0,15	5,695 ± 0,19	4,690 ± 0,15	4,644 ± 0,28	4,951 ± 0,16
48	3,625 ± 0,11	2,842 ± 0,09	2,735 ± 0,09	3,940 ± 0,24	4,992 ± 0,16
49	3,202 ± 0,11	2,574 ± 0,09	2,738 ± 0,09	3,271 ± 0,20	4,303 ± 0,14
50	3,130 ± 0,10	2,295 ± 0,08	2,396 ± 0,08	2,642 ± 0,16	2,695 ± 0,09

Tabela B.3: Fluxo em H α de NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
1	0,961 \pm 0,07	0,432 \pm 0,02	0,728 \pm 0,07	0,818 \pm 0,05	0,775 \pm 0,05
2	0,942 \pm 0,06	0,373 \pm 0,02	0,811 \pm 0,08	0,734 \pm 0,05	0,751 \pm 0,05
3	0,974 \pm 0,07	0,434 \pm 0,02	0,872 \pm 0,08	0,726 \pm 0,04	0,799 \pm 0,05
4	0,928 \pm 0,06	0,422 \pm 0,02	0,720 \pm 0,07	0,861 \pm 0,05	0,820 \pm 0,05
5	1,024 \pm 0,07	0,505 \pm 0,02	0,750 \pm 0,07	0,882 \pm 0,06	0,850 \pm 0,05
6	1,070 \pm 0,07	0,428 \pm 0,02	0,692 \pm 0,07	0,900 \pm 0,06	0,922 \pm 0,05
7	1,061 \pm 0,07	0,375 \pm 0,02	0,733 \pm 0,07	0,904 \pm 0,06	0,913 \pm 0,05
8	1,105 \pm 0,07	0,419 \pm 0,02	0,754 \pm 0,07	0,840 \pm 0,05	0,874 \pm 0,05
9	1,160 \pm 0,07	0,528 \pm 0,01	0,692 \pm 0,06	0,830 \pm 0,05	0,852 \pm 0,05
10	1,284 \pm 0,08	0,541 \pm 0,02	0,875 \pm 0,08	0,835 \pm 0,05	0,955 \pm 0,06
11	1,486 \pm 0,07	0,542 \pm 0,02	0,838 \pm 0,07	0,884 \pm 0,06	0,860 \pm 0,05
12	1,557 \pm 0,07	0,580 \pm 0,02	0,935 \pm 0,07	0,882 \pm 0,05	0,971 \pm 0,05
13	1,958 \pm 0,09	0,490 \pm 0,02	0,869 \pm 0,07	0,903 \pm 0,06	1,075 \pm 0,06
14	2,339 \pm 0,11	0,542 \pm 0,02	1,098 \pm 0,09	1,050 \pm 0,07	1,245 \pm 0,07
15	2,640 \pm 0,12	0,683 \pm 0,02	1,321 \pm 0,10	0,906 \pm 0,06	1,341 \pm 0,07
16	3,118 \pm 0,10	0,804 \pm 0,01	1,730 \pm 0,10	1,676 \pm 0,07	1,469 \pm 0,06
17	3,468 \pm 0,11	0,882 \pm 0,02	1,908 \pm 0,11	1,684 \pm 0,07	1,410 \pm 0,06
18	4,280 \pm 0,13	0,925 \pm 0,02	2,054 \pm 0,12	1,844 \pm 0,08	1,680 \pm 0,07
19	4,921 \pm 0,15	1,088 \pm 0,19	2,316 \pm 0,13	2,278 \pm 0,10	1,852 \pm 0,08
20	6,008 \pm 0,19	1,325 \pm 0,21	2,791 \pm 0,16	2,704 \pm 0,11	2,183 \pm 0,09
21	7,891 \pm 0,07	1,789 \pm 0,17	3,452 \pm 0,11	3,066 \pm 0,07	2,364 \pm 0,07
22	10,58 \pm 0,09	2,068 \pm 0,20	4,630 \pm 0,14	3,461 \pm 0,08	2,732 \pm 0,12
23	21,07 \pm 0,17	3,451 \pm 0,25	4,714 \pm 0,15	3,962 \pm 0,09	3,075 \pm 0,09
24	58,09 \pm 0,48	6,195 \pm 0,28	6,130 \pm 0,19	5,030 \pm 0,12	3,600 \pm 0,12
25	118,2 \pm 0,99	8,498 \pm 0,34	11,30 \pm 0,35	8,394 \pm 0,21	5,020 \pm 0,17
26	177,6 \pm 1,14	11,47 \pm 0,44	13,95 \pm 0,14	1,870 \pm 0,12	8,678 \pm 0,14
27	266,8 \pm 1,71	21,23 \pm 0,59	24,34 \pm 0,24	0,580 \pm 0,21	11,74 \pm 0,21
28	268,9 \pm 1,74	32,94 \pm 0,11	49,82 \pm 0,49	0,425 \pm 0,31	14,99 \pm 0,22
29	249,8 \pm 1,61	40,25 \pm 0,14	107,3 \pm 1,06	2,044 \pm 0,43	19,71 \pm 0,29
30	92,37 \pm 0,65	41,45 \pm 0,21	128,0 \pm 1,26	3,132 \pm 0,55	24,46 \pm 0,37
31	103,1 \pm 1,61	35,23 \pm 0,19	127,6 \pm 1,09	5,593 \pm 0,60	30,01 \pm 0,35

Tabela B.3: Fluxo em H_α de NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
32	218,8 ± 1,26	30,75 ± 0,18	116,6 ± 0,99	2,000 ± 0,57	46,18 ± 0,51
33	225,1 ± 1,30	27,46 ± 0,11	77,54 ± 0,66	6,276 ± 0,44	51,30 ± 0,56
34	222,6 ± 1,28	20,76 ± 0,80	73,34 ± 0,62	7,136 ± 0,53	43,68 ± 0,48
35	169,5 ± 0,97	13,10 ± 0,49	60,33 ± 0,51	2,354 ± 0,42	30,04 ± 0,33
36	95,58 ± 0,66	7,785 ± 0,24	41,58 ± 0,59	4,904 ± 0,26	18,52 ± 0,25
37	47,72 ± 0,33	4,661 ± 0,24	22,05 ± 0,31	5,525 ± 0,16	14,78 ± 0,20
38	27,87 ± 0,19	2,759 ± 0,21	11,84 ± 0,17	0,571 ± 0,10	10,65 ± 0,14
39	16,03 ± 0,11	1,850 ± 0,16	8,088 ± 0,11	0,819 ± 0,08	7,705 ± 0,10
40	11,99 ± 0,09	1,740 ± 0,22	6,691 ± 0,09	0,480 ± 0,07	6,271 ± 0,08
41	9,547 ± 0,21	1,302 ± 0,18	5,492 ± 0,21	0,800 ± 0,13	5,219 ± 0,14
42	6,818 ± 0,15	1,083 ± 0,16	4,080 ± 0,16	0,642 ± 0,12	4,290 ± 0,11
43	5,767 ± 0,13	1,014 ± 0,16	3,320 ± 0,12	0,793 ± 0,10	3,330 ± 0,09
44	5,776 ± 0,13	0,902 ± 0,01	3,322 ± 0,13	0,294 ± 0,09	3,032 ± 0,08
45	5,150 ± 0,12	0,805 ± 0,02	2,663 ± 0,10	0,722 ± 0,07	2,773 ± 0,07
46	4,964 ± 0,16	0,818 ± 0,01	3,184 ± 0,18	0,235 ± 0,13	3,074 ± 0,12
47	4,703 ± 0,16	0,845 ± 0,02	2,952 ± 0,17	0,930 ± 0,11	2,752 ± 0,11
48	4,571 ± 0,15	0,679 ± 0,01	2,365 ± 0,13	0,151 ± 0,08	2,129 ± 0,09
49	3,787 ± 0,13	0,618 ± 0,01	1,848 ± 0,10	0,760 ± 0,07	1,691 ± 0,07
50	2,684 ± 0,09	0,511 ± 0,02	1,545 ± 0,09	0,450 ± 0,06	1,369 ± 0,06

Apêndice C

Razões $\lambda 6716/\lambda 6731$ de NGC 2579

Os valores medidos para as razões do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) e seus respectivos erros estão apresentados nas tabelas a seguir. As linhas das tabelas representam a posição ao longo da fenda com espaçamento de $5''$, ou seja, representam os espectros unidimensionais. A primeira coluna apresenta o número da abertura, e as demais colunas indicam o valor calculado para a razão de linhas em cada posição utilizada na fenda em relação à estrela de referência adotada durante a observação, em segundos de arco.

Tabela C.1: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de 40 a 20 segundos de arco para o Sul.

N	-40''	-35''	-20''	-25''	-20''
1	1,78 ± 0,51	1,85 ± 0,45	1,72 ± 0,44	1,68 ± 0,48	1,40 ± 0,32
2	1,87 ± 0,49	1,57 ± 0,41	1,20 ± 0,32	2,18 ± 0,60	1,61 ± 0,42
3	1,86 ± 0,51	1,84 ± 0,49	1,90 ± 0,48	1,24 ± 0,31	1,58 ± 0,40
4	2,31 ± 0,69	1,97 ± 0,49	1,73 ± 0,43	1,32 ± 0,32	1,26 ± 0,30
5	1,96 ± 0,54	2,04 ± 0,46	1,15 ± 0,28	1,35 ± 0,36	1,18 ± 0,29
6	1,25 ± 0,29	1,17 ± 0,24	1,87 ± 0,51	1,34 ± 0,34	1,42 ± 0,34
7	1,21 ± 0,25	1,19 ± 0,29	1,29 ± 0,31	1,66 ± 0,36	1,62 ± 0,39
8	1,23 ± 0,33	1,35 ± 0,32	1,54 ± 0,35	2,45 ± 0,60	0,98 ± 0,22
9	2,21 ± 0,64	1,55 ± 0,36	2,15 ± 0,52	1,06 ± 0,22	2,07 ± 0,56
10	1,04 ± 0,25	1,52 ± 0,34	1,28 ± 0,27	1,34 ± 0,28	1,25 ± 0,47
11	0,94 ± 0,20	1,48 ± 0,30	1,31 ± 0,27	1,67 ± 0,37	1,70 ± 0,40
12	1,36 ± 0,27	1,35 ± 0,27	1,06 ± 0,22	1,84 ± 0,42	1,31 ± 0,28
13	1,33 ± 0,28	1,52 ± 0,28	1,18 ± 0,21	1,27 ± 0,24	1,36 ± 0,26
14	1,11 ± 0,21	1,63 ± 0,27	1,42 ± 0,27	1,46 ± 0,26	1,34 ± 0,27
15	1,42 ± 0,27	1,36 ± 0,19	1,29 ± 0,24	0,95 ± 0,14	1,61 ± 0,31
16	1,23 ± 0,18	1,13 ± 0,13	1,28 ± 0,19	1,37 ± 0,23	1,28 ± 0,21
17	1,15 ± 0,13	1,17 ± 0,09	1,21 ± 0,15	1,50 ± 0,22	1,15 ± 0,19
18	1,12 ± 0,08	1,14 ± 0,05	1,09 ± 0,10	1,40 ± 0,19	1,31 ± 0,19
19	1,04 ± 0,05	1,11 ± 0,06	1,12 ± 0,07	1,16 ± 0,12	1,04 ± 0,15
20	1,23 ± 0,08	1,12 ± 0,07	1,17 ± 0,05	1,21 ± 0,08	1,08 ± 0,14
21	1,14 ± 0,08	1,17 ± 0,08	1,14 ± 0,05	1,12 ± 0,06	1,08 ± 0,12
22	1,15 ± 0,09	1,15 ± 0,08	1,11 ± 0,05	1,10 ± 0,05	1,04 ± 0,10
23	1,21 ± 0,10	1,09 ± 0,07	1,14 ± 0,05	1,16 ± 0,06	1,11 ± 0,09
24	1,21 ± 0,09	1,21 ± 0,08	1,16 ± 0,06	1,04 ± 0,06	0,96 ± 0,08
25	1,08 ± 0,09	1,20 ± 0,11	1,16 ± 0,08	1,13 ± 0,09	0,89 ± 0,07
26	1,04 ± 0,10	1,26 ± 0,13	1,19 ± 0,10	1,04 ± 0,08	0,85 ± 0,05
27	1,12 ± 0,14	1,23 ± 0,13	1,19 ± 0,09	1,17 ± 0,07	0,95 ± 0,04
28	1,21 ± 0,15	1,17 ± 0,12	1,18 ± 0,08	1,09 ± 0,05	0,99 ± 0,04
29	1,04 ± 0,12	1,18 ± 0,10	1,10 ± 0,06	1,02 ± 0,03	0,99 ± 0,03
30	1,09 ± 0,13	1,14 ± 0,09	1,06 ± 0,04	0,98 ± 0,03	1,04 ± 0,04
31	1,25 ± 0,12	1,08 ± 0,08	1,05 ± 0,05	0,97 ± 0,03	1,06 ± 0,05

Tabela C.1: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de 40 a 20 segundos de arco para o Sul.

N	-40"	-35"	-20"	-25"	-20"
32	$1,21 \pm 0,11$	$1,21 \pm 0,10$	$1,13 \pm 0,06$	$1,06 \pm 0,04$	$1,07 \pm 0,05$
33	$1,21 \pm 0,11$	$1,19 \pm 0,09$	$1,12 \pm 0,05$	$1,16 \pm 0,05$	$1,06 \pm 0,05$
34	$1,09 \pm 0,11$	$1,13 \pm 0,11$	$1,11 \pm 0,06$	$1,19 \pm 0,06$	$1,19 \pm 0,06$
35	$1,21 \pm 0,14$	$1,18 \pm 0,11$	$1,15 \pm 0,07$	$1,16 \pm 0,06$	$1,24 \pm 0,07$
36	$1,31 \pm 0,15$	$1,24 \pm 0,13$	$1,20 \pm 0,09$	$1,25 \pm 0,08$	$1,18 \pm 0,06$
37	$1,17 \pm 0,13$	$1,31 \pm 0,11$	$1,23 \pm 0,09$	$1,26 \pm 0,09$	$1,24 \pm 0,08$
38	$1,21 \pm 0,14$	$1,24 \pm 0,12$	$1,30 \pm 0,09$	$1,34 \pm 0,10$	$1,22 \pm 0,08$
39	$1,31 \pm 0,16$	$1,28 \pm 0,14$	$1,33 \pm 0,10$	$1,32 \pm 0,11$	$1,32 \pm 0,10$
40	$1,31 \pm 0,17$	$1,32 \pm 0,14$	$1,28 \pm 0,11$	$1,24 \pm 0,12$	$1,39 \pm 0,12$
41	$1,19 \pm 0,17$	$1,34 \pm 0,18$	$1,32 \pm 0,14$	$1,31 \pm 0,15$	$1,39 \pm 0,15$
42	$1,55 \pm 0,24$	$1,33 \pm 0,17$	$1,23 \pm 0,15$	$1,28 \pm 0,14$	$1,20 \pm 0,14$
43	$1,28 \pm 0,18$	$1,50 \pm 0,26$	$1,45 \pm 0,19$	$1,29 \pm 0,15$	$1,41 \pm 0,17$
44	$1,54 \pm 0,24$	$1,22 \pm 0,18$	$1,29 \pm 0,15$	$1,25 \pm 0,14$	$1,34 \pm 0,17$
45	$1,56 \pm 0,26$	$1,40 \pm 0,21$	$1,38 \pm 0,18$	$1,29 \pm 0,18$	$1,36 \pm 0,18$
46	$1,53 \pm 0,27$	$1,18 \pm 0,19$	$1,39 \pm 0,23$	$1,40 \pm 0,23$	$1,07 \pm 0,14$
47	$1,32 \pm 0,23$	$1,18 \pm 0,21$	$1,52 \pm 0,25$	$1,28 \pm 0,21$	$0,83 \pm 0,10$
48	$1,41 \pm 0,25$	$1,09 \pm 0,17$	$1,30 \pm 0,22$	$1,41 \pm 0,22$	$1,28 \pm 0,15$
49	$1,31 \pm 0,22$	$1,42 \pm 0,23$	$1,52 \pm 0,21$	$1,28 \pm 0,16$	$1,35 \pm 0,19$
50	$1,45 \pm 0,22$	$1,47 \pm 0,19$	$1,30 \pm 0,14$	$1,31 \pm 0,15$	$1,16 \pm 0,16$

Tabela C.2: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	-15''	-10''	-5''	0''	+5''
1	1,45 ± 0,35	1,42 ± 0,39	1,29 ± 1,08	1,58 ± 0,39	1,05 ± 0,41
2	1,75 ± 0,50	1,38 ± 0,32	1,49 ± 1,21	1,33 ± 0,30	3,25 ± 1,02
3	1,64 ± 0,42	1,52 ± 0,33	0,83 ± 0,34	1,53 ± 0,38	0,97 ± 0,34
4	1,37 ± 0,33	1,35 ± 0,35	2,26 ± 1,36	1,35 ± 0,31	1,89 ± 0,68
5	1,10 ± 0,27	1,44 ± 0,43	2,18 ± 0,62	0,92 ± 0,21	1,60 ± 0,56
6	1,44 ± 0,31	1,72 ± 0,47	1,40 ± 0,80	1,37 ± 0,31	1,37 ± 0,48
7	1,47 ± 0,33	1,48 ± 0,40	1,65 ± 1,34	1,53 ± 0,32	1,14 ± 0,39
8	1,24 ± 0,32	1,35 ± 0,34	2,09 ± 2,29	1,78 ± 0,40	0,73 ± 0,25
9	2,21 ± 0,60	1,25 ± 0,35	1,65 ± 1,15	1,27 ± 0,27	1,44 ± 0,49
10	1,61 ± 0,40	1,34 ± 0,34	1,16 ± 0,69	1,19 ± 0,27	1,72 ± 0,60
11	1,29 ± 0,27	1,02 ± 0,22	0,75 ± 0,54	1,22 ± 0,27	1,27 ± 0,43
12	1,88 ± 0,52	1,41 ± 0,32	1,16 ± 0,79	1,36 ± 0,30	0,30 ± 0,11
13	0,97 ± 0,21	1,83 ± 0,43	2,09 ± 1,55	1,32 ± 0,25	0,34 ± 0,13
14	1,19 ± 0,25	1,54 ± 0,33	1,61 ± 0,90	1,44 ± 0,29	0,87 ± 0,32
15	1,14 ± 0,20	1,04 ± 0,19	0,99 ± 0,54	1,23 ± 0,24	1,63 ± 0,57
16	1,20 ± 0,20	1,77 ± 0,34	1,27 ± 1,70	1,21 ± 0,21	1,25 ± 0,35
17	1,49 ± 0,23	1,62 ± 0,29	1,39 ± 0,73	1,26 ± 0,21	0,83 ± 0,24
18	1,03 ± 0,14	1,13 ± 0,18	1,23 ± 0,90	1,13 ± 0,18	1,25 ± 0,34
19	1,10 ± 0,16	1,15 ± 0,15	1,21 ± 0,74	1,42 ± 0,20	1,60 ± 0,43
20	1,26 ± 0,15	1,13 ± 0,12	1,05 ± 0,35	1,11 ± 0,15	1,55 ± 0,42
21	1,03 ± 0,11	1,09 ± 0,12	1,11 ± 0,33	1,03 ± 0,13	0,90 ± 0,08
22	1,04 ± 0,10	1,05 ± 0,11	0,96 ± 0,16	1,01 ± 0,11	1,25 ± 0,11
23	1,00 ± 0,09	1,00 ± 0,08	0,94 ± 0,14	0,96 ± 0,07	0,96 ± 0,07
24	0,95 ± 0,07	0,88 ± 0,04	0,86 ± 0,28	0,84 ± 0,03	0,80 ± 0,05
25	0,86 ± 0,04	0,86 ± 0,03	0,89 ± 0,06	0,78 ± 0,02	0,81 ± 0,05
26	0,74 ± 0,03	0,90 ± 0,03	0,75 ± 0,03	0,74 ± 0,03	0,83 ± 0,05
27	0,88 ± 0,03	0,77 ± 0,02	0,73 ± 0,04	0,88 ± 0,02	0,83 ± 0,05
28	0,89 ± 0,03	0,87 ± 0,06	0,94 ± 0,15	1,02 ± 0,04	0,98 ± 0,06
29	0,99 ± 0,04	1,00 ± 0,05	1,05 ± 0,40	1,02 ± 0,05	1,09 ± 0,06
30	1,02 ± 0,05	1,04 ± 0,07	1,13 ± 1,06	1,05 ± 0,06	1,04 ± 0,07

Tabela C.2: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 15 segundos de arco ao Sul da estrela de referência até 5 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	-15''	-10''	-5''	0''	+5''
31	1,06 ± 0,05	1,08 ± 0,07	1,09 ± 0,21	0,98 ± 0,05	0,82 ± 0,08
32	1,06 ± 0,06	1,18 ± 0,07	1,12 ± 0,22	1,10 ± 0,05	0,81 ± 0,06
33	1,15 ± 0,06	1,03 ± 0,06	1,07 ± 0,20	1,10 ± 0,05	1,12 ± 0,08
34	1,12 ± 0,06	1,06 ± 0,06	1,19 ± 0,14	1,12 ± 0,05	1,09 ± 0,08
35	1,22 ± 0,07	1,14 ± 0,08	1,08 ± 0,25	1,12 ± 0,05	1,11 ± 0,08
36	1,23 ± 0,09	1,11 ± 0,07	1,07 ± 0,23	1,15 ± 0,05	1,13 ± 0,10
37	1,18 ± 0,08	1,17 ± 0,07	1,19 ± 0,22	1,16 ± 0,06	1,09 ± 0,09
38	1,28 ± 0,10	1,17 ± 0,10	1,21 ± 0,25	1,08 ± 0,07	1,16 ± 0,10
39	1,20 ± 0,12	1,25 ± 0,13	1,22 ± 0,20	1,17 ± 0,09	1,33 ± 0,13
40	1,38 ± 0,17	1,32 ± 0,16	1,22 ± 0,28	1,22 ± 0,10	1,38 ± 0,13
41	1,36 ± 0,18	1,33 ± 0,16	1,25 ± 0,21	1,17 ± 0,11	1,18 ± 0,18
42	1,25 ± 0,17	1,41 ± 0,18	1,18 ± 0,21	1,34 ± 0,14	1,24 ± 0,20
43	1,26 ± 0,17	1,40 ± 0,17	1,17 ± 0,23	1,21 ± 0,13	1,23 ± 0,20
44	1,41 ± 0,20	1,16 ± 0,15	1,22 ± 0,30	1,17 ± 0,14	1,19 ± 0,20
45	1,49 ± 0,21	1,21 ± 0,17	1,25 ± 0,33	1,44 ± 0,19	1,20 ± 0,21
46	1,25 ± 0,16	1,39 ± 0,16	1,16 ± 0,22	1,26 ± 0,17	1,00 ± 0,23
47	1,21 ± 0,16	1,26 ± 0,13	1,24 ± 0,17	1,37 ± 0,18	1,36 ± 0,33
48	1,32 ± 0,18	1,42 ± 0,20	1,30 ± 0,81	1,40 ± 0,17	1,41 ± 0,32
49	1,32 ± 0,18	1,46 ± 0,22	1,43 ± 1,20	1,24 ± 0,17	1,32 ± 0,30
50	1,47 ± 0,22	1,56 ± 0,26	1,45 ± 0,37	1,29 ± 0,20	1,05 ± 0,26

Tabela C.3: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
1	1,98 ± 0,56	1,67 ± 0,60	1,27 ± 0,47	1,73 ± 0,45	1,36 ± 0,32
2	1,26 ± 0,27	1,46 ± 0,47	1,17 ± 0,35	1,36 ± 0,38	1,25 ± 0,29
3	1,18 ± 0,25	2,11 ± 0,58	1,51 ± 0,51	1,36 ± 0,37	1,33 ± 0,32
4	0,94 ± 0,20	0,31 ± 0,09	0,85 ± 0,27	1,05 ± 0,27	1,49 ± 0,37
5	1,05 ± 0,26	1,52 ± 0,50	0,34 ± 0,10	1,44 ± 0,38	1,98 ± 0,48
6	0,68 ± 0,14	0,82 ± 0,21	0,98 ± 0,29	1,53 ± 0,41	1,45 ± 0,35
7	1,21 ± 0,27	1,92 ± 0,55	0,93 ± 0,28	1,19 ± 0,31	1,32 ± 0,31
8	1,03 ± 0,21	1,38 ± 0,43	0,61 ± 0,18	2,29 ± 0,60	0,97 ± 0,23
9	1,52 ± 0,32	1,12 ± 0,37	1,13 ± 0,30	1,64 ± 0,43	0,89 ± 0,21
10	1,29 ± 0,29	1,91 ± 0,55	0,94 ± 0,26	1,13 ± 0,30	1,91 ± 0,45
11	1,59 ± 0,37	1,24 ± 0,38	1,07 ± 0,28	1,08 ± 0,27	1,64 ± 0,39
12	1,62 ± 0,35	2,06 ± 0,60	0,74 ± 0,23	1,67 ± 0,42	1,31 ± 0,32
13	1,37 ± 0,30	1,48 ± 0,38	1,68 ± 0,58	1,52 ± 0,38	0,97 ± 0,23
14	1,25 ± 0,23	1,16 ± 0,36	1,24 ± 0,35	0,98 ± 0,23	1,52 ± 0,38
15	1,42 ± 0,28	1,55 ± 0,41	0,64 ± 0,19	1,17 ± 0,30	1,52 ± 0,35
16	1,37 ± 0,28	0,96 ± 0,24	0,13 ± 0,03	1,33 ± 0,29	1,14 ± 0,23
17	1,28 ± 0,24	1,62 ± 0,44	1,87 ± 0,47	1,37 ± 0,28	1,48 ± 0,30
18	1,47 ± 0,28	0,85 ± 0,19	0,78 ± 0,19	0,88 ± 0,18	1,09 ± 0,22
19	1,35 ± 0,23	1,54 ± 0,43	0,33 ± 0,08	1,37 ± 0,28	1,56 ± 0,32
20	1,06 ± 0,16	1,51 ± 0,42	0,83 ± 0,22	1,24 ± 0,25	1,17 ± 0,25
21	1,11 ± 0,17	1,27 ± 0,29	1,92 ± 0,43	1,01 ± 0,17	1,19 ± 0,22
22	1,08 ± 0,15	1,37 ± 0,32	0,99 ± 0,20	1,37 ± 0,23	1,13 ± 0,21
23	0,93 ± 0,10	0,82 ± 0,16	0,92 ± 0,19	1,37 ± 0,22	1,09 ± 0,21
24	0,92 ± 0,05	1,09 ± 0,16	1,13 ± 0,21	1,09 ± 0,18	1,18 ± 0,21
25	0,81 ± 0,03	1,08 ± 0,13	0,99 ± 0,18	1,11 ± 0,18	1,24 ± 0,23
26	0,88 ± 0,03	1,02 ± 0,10	0,95 ± 0,07	1,04 ± 0,07	1,07 ± 0,11
27	0,87 ± 0,02	0,99 ± 0,07	1,06 ± 0,07	1,03 ± 0,06	1,13 ± 0,12
28	1,02 ± 0,03	1,05 ± 0,07	1,00 ± 0,07	1,08 ± 0,06	1,07 ± 0,11
29	1,06 ± 0,05	1,04 ± 0,08	1,02 ± 0,07	1,03 ± 0,06	1,07 ± 0,11
30	1,06 ± 0,19	1,01 ± 0,07	1,01 ± 0,07	1,03 ± 0,06	1,14 ± 0,12
31	1,05 ± 0,19	1,11 ± 0,08	1,05 ± 0,06	1,09 ± 0,05	1,13 ± 0,06

Tabela C.3: Razão do [S II] ($\lambda 6716/\lambda 6731$) medida para NGC 2579, nas posições de fenda de 10 a 30 segundos de arco ao Norte da estrela de referência.

N	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
32	1,07 ± 0,05	1,11 ± 0,09	1,04 ± 0,06	1,07 ± 0,04	1,02 ± 0,06
33	1,09 ± 0,05	0,99 ± 0,08	1,07 ± 0,06	1,08 ± 0,04	0,97 ± 0,05
34	1,04 ± 0,04	1,12 ± 0,08	1,06 ± 0,09	1,08 ± 0,04	1,00 ± 0,06
35	0,99 ± 0,04	1,15 ± 0,09	1,09 ± 0,06	1,07 ± 0,04	1,05 ± 0,06
36	1,05 ± 0,04	1,08 ± 0,11	1,13 ± 0,09	1,12 ± 0,06	1,12 ± 0,07
37	1,14 ± 0,07	1,13 ± 0,13	1,10 ± 0,09	1,13 ± 0,06	1,15 ± 0,07
38	1,17 ± 0,08	1,34 ± 0,17	1,21 ± 0,10	1,21 ± 0,07	1,25 ± 0,08
39	1,28 ± 0,10	1,08 ± 0,16	1,11 ± 0,10	1,07 ± 0,06	1,12 ± 0,07
40	1,23 ± 0,11	1,14 ± 0,20	1,52 ± 0,16	1,16 ± 0,07	1,08 ± 0,07
41	1,29 ± 0,12	1,21 ± 0,23	1,41 ± 0,27	1,19 ± 0,16	1,29 ± 0,20
42	1,27 ± 0,16	1,18 ± 0,22	1,22 ± 0,24	1,16 ± 0,16	1,11 ± 0,17
43	1,32 ± 0,19	1,06 ± 0,24	1,21 ± 0,24	1,13 ± 0,15	1,26 ± 0,20
44	1,26 ± 0,18	1,04 ± 0,24	1,06 ± 0,21	1,25 ± 0,17	1,32 ± 0,19
45	1,16 ± 0,14	1,19 ± 0,29	1,04 ± 0,23	1,31 ± 0,18	1,76 ± 0,28
46	1,18 ± 0,15	1,34 ± 0,27	1,67 ± 0,45	1,35 ± 0,24	1,49 ± 0,31
47	1,27 ± 0,15	1,24 ± 0,28	1,33 ± 0,35	0,95 ± 0,18	0,88 ± 0,17
48	1,34 ± 0,18	1,51 ± 0,41	0,97 ± 0,26	1,29 ± 0,24	1,24 ± 0,26
49	1,22 ± 0,19	0,42 ± 0,14	1,21 ± 0,35	1,11 ± 0,21	1,31 ± 0,27
50	1,30 ± 0,25	1,42 ± 0,43	0,98 ± 0,27	1,07 ± 0,21	1,13 ± 0,24

Apêndice D

Densidades Eletrônicas de NGC 2579

Os valores calculados para a densidade eletrônica e seus respectivos erros estão apresentados nas tabelas a seguir, em unidades de cm^{-3} . As linhas das tabelas representam a posição ao longo da fenda com espaçamento de $5''$, ou seja, representam os espectros unidimensionais. A primeira coluna apresenta o número da abertura, e as demais colunas indicam o valor estimado para a densidade eletrônica em cada posição utilizada na fenda em relação à estrela de referência adotada durante a observação, em segundos de arco. Quando nenhum valor foi estimado para a densidade eletrônica, utilizou-se um * para representar a ausência de valor.

Tabela D.1: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 40 a 15 segundos de arco para o Sul.

N	-40"	-35"	-30"	-25"	-20"	-15"
1	<147	<31	<142	<236	25^{+394}_{-25}	<381
2	<47	<297	234^{+726}_{-234}	*	<255	<180
3	<69	<76	<14	179^{+614}_{-179}	<275	<223
4	*	*	<128	100^{+505}_{-100}	161^{+545}_{-161}	50^{+465}_{-50}
5	<15	*	302^{+723}_{-302}	68^{+562}_{-68}	265^{+691}_{-265}	381^{+791}_{-330}
6	177^{+538}_{-177}	273^{+533}_{-261}	<66	82^{+518}_{-82}	12^{+426}_{-12}	<349
7	223^{+480}_{-223}	239^{+642}_{-239}	129^{+530}_{-129}	<120	<200	<335
8	202^{+701}_{-202}	74^{+465}_{-74}	<247	*	645^{+1027}_{-415}	189^{+644}_{-189}
9	*	<264	*	461^{+716}_{-328}	*	*
10	493^{+951}_{-376}	<264	136^{+430}_{-136}	78^{+379}_{-78}	169^{+1314}_{-169}	<234
11	750^{+1081}_{-444}	<275	110^{+402}_{-110}	<125	<117	122^{+417}_{-122}
12	58^{+341}_{-58}	71^{+359}_{-71}	457^{+681}_{-320}	<13	111^{+423}_{-111}	<64
13	93^{+411}_{-93}	<188	258^{+428}_{-231}	150^{+391}_{-150}	62^{+340}_{-62}	659^{+929}_{-401}
14	364^{+528}_{-271}	<66	14^{+296}_{-14}	<250	85^{+366}_{-85}	248^{+511}_{-248}
15	8^{+304}_{-8}	60^{+223}_{-60}	125^{+360}_{-125}	732^{+607}_{-334}	<133	322^{+455}_{-246}
16	203^{+305}_{-185}	340^{+272}_{-181}	133^{+275}_{-133}	51^{+271}_{-51}	141^{+310}_{-141}	235^{+370}_{-211}
17	307^{+241}_{-165}	272^{+154}_{-118}	225^{+244}_{-162}	<143	304^{+396}_{-226}	<163
18	351^{+149}_{-116}	325^{+98}_{-81}	394^{+231}_{-164}	27^{+198}_{-27}	109^{+259}_{-109}	530^{+442}_{-261}
19	500^{+130}_{-107}	364^{+123}_{-99}	356^{+129}_{-104}	294^{+229}_{-159}	500^{+437}_{-257}	383^{+388}_{-230}
20	202^{+120}_{-95}	351^{+134}_{-107}	272^{+89}_{-75}	225^{+123}_{-98}	424^{+344}_{-216}	158^{+210}_{-143}
21	325^{+150}_{-116}	276^{+134}_{-105}	321^{+91}_{-77}	354^{+117}_{-95}	428^{+292}_{-195}	530^{+310}_{-208}
22	298^{+155}_{-119}	310^{+147}_{-114}	371^{+100}_{-84}	383^{+108}_{-90}	504^{+258}_{-182}	498^{+261}_{-184}
23	220^{+148}_{-113}	394^{+145}_{-115}	329^{+99}_{-84}	286^{+101}_{-83}	378^{+191}_{-142}	583^{+274}_{-194}
24	218^{+131}_{-102}	222^{+126}_{-99}	285^{+103}_{-86}	510^{+165}_{-129}	689^{+283}_{-203}	735^{+241}_{-182}
25	419^{+193}_{-145}	230^{+182}_{-132}	285^{+134}_{-106}	335^{+169}_{-128}	941^{+336}_{-240}	1043^{+239}_{-189}
26	510^{+287}_{-196}	162^{+186}_{-131}	242^{+162}_{-122}	508^{+221}_{-162}	1078^{+285}_{-217}	1770^{+305}_{-245}
27	348^{+292}_{-191}	197^{+202}_{-141}	255^{+153}_{-116}	279^{+123}_{-99}	714^{+143}_{-118}	956^{+163}_{-136}
28	220^{+243}_{-162}	270^{+203}_{-144}	262^{+135}_{-106}	390^{+99}_{-84}	622^{+122}_{-102}	937^{+145}_{-123}
29	504^{+336}_{-218}	266^{+170}_{-126}	381^{+114}_{-94}	541^{+94}_{-81}	617^{+97}_{-84}	607^{+122}_{-102}
30	390^{+299}_{-195}	316^{+161}_{-123}	455^{+97}_{-83}	635^{+103}_{-88}	500^{+97}_{-84}	541^{+139}_{-114}
31	172^{+177}_{-127}	430^{+180}_{-137}	475^{+117}_{-98}	661^{+113}_{-96}	455^{+107}_{-90}	465^{+127}_{-105}

Tabela D.1: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 40 a 15 segundos de arco para o Sul.

N	-40"	-35"	-30"	-25"	-20"	-15"
32	220^{+175}_{-129}	218^{+146}_{-111}	340^{+107}_{-89}	461^{+103}_{-87}	438^{+108}_{-91}	457^{+131}_{-107}
33	221^{+180}_{-131}	246^{+151}_{-116}	358^{+105}_{-88}	294^{+89}_{-76}	457^{+116}_{-97}	302^{+111}_{-90}
34	392^{+243}_{-170}	338^{+221}_{-157}	363^{+118}_{-97}	247^{+91}_{-76}	252^{+97}_{-80}	349^{+126}_{-101}
35	222^{+235}_{-158}	268^{+191}_{-139}	307^{+132}_{-105}	286^{+109}_{-89}	179^{+93}_{-76}	207^{+106}_{-86}
36	107^{+187}_{-107}	191^{+189}_{-134}	231^{+140}_{-108}	171^{+111}_{-88}	262^{+106}_{-86}	194^{+122}_{-97}
37	285^{+241}_{-164}	109^{+137}_{-103}	195^{+127}_{-100}	158^{+120}_{-95}	188^{+113}_{-91}	268^{+133}_{-105}
38	229^{+228}_{-156}	182^{+169}_{-124}	115^{+107}_{-85}	77^{+112}_{-77}	206^{+119}_{-95}	145^{+137}_{-103}
39	107^{+200}_{-107}	138^{+180}_{-127}	94^{+113}_{-88}	98^{+124}_{-95}	103^{+122}_{-94}	230^{+185}_{-134}
40	111^{+219}_{-111}	103^{+169}_{-103}	136^{+143}_{-108}	189^{+175}_{-127}	36^{+125}_{-36}	46^{+184}_{-46}
41	254^{+303}_{-189}	83^{+212}_{-83}	100^{+172}_{-100}	111^{+183}_{-111}	32^{+156}_{-32}	64^{+202}_{-64}
42	< 111	87^{+205}_{-87}	201^{+237}_{-158}	144^{+197}_{-136}	236^{+235}_{-158}	179^{+253}_{-163}
43	137^{+257}_{-137}	<185	<168	127^{+192}_{-127}	23^{+178}_{-23}	162^{+242}_{-158}
44	<128	206^{+309}_{-187}	130^{+206}_{-130}	177^{+203}_{-140}	79^{+206}_{-79}	18^{+202}_{-18}
45	<117	24^{+228}_{-24}	46^{+200}_{-46}	126^{+250}_{-126}	60^{+199}_{-60}	<150
46	<162	255^{+352}_{-206}	36^{+265}_{-36}	26^{+254}_{-26}	447^{+363}_{-225}	177^{+246}_{-160}
47	99^{+322}_{-99}	265^{+415}_{-228}	<155	136^{+305}_{-136}	1182^{+713}_{-410}	221^{+274}_{-175}
48	18^{+277}_{-18}	406^{+444}_{-251}	117^{+309}_{-117}	18^{+232}_{-18}	135^{+197}_{-135}	102^{+236}_{-102}
49	107^{+301}_{-107}	15^{+250}_{-15}	<114	135^{+214}_{-135}	72^{+225}_{-72}	102^{+231}_{-102}
50	<197	<139	119^{+185}_{-119}	105^{+192}_{-105}	295^{+315}_{-196}	<178

Tabela D.2: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 10 segundos de arco para o Sul até 15 segundos de arco para o Norte.

N	-10''	-5''	0''	+5''	+10''	+15''
1	10^{+531}_{-10}	*	<246	489^{+2811}_{-489}	<21	<453
2	47^{+432}_{-47}	*	91^{+443}_{-91}	*	162^{+465}_{-162}	<622
3	<266	1167^{+14410}_{-901}	<324	678^{+2878}_{-574}	258^{+548}_{-258}	*
4	71^{+529}_{-71}	<914	72^{+438}_{-72}	<230	747^{+1015}_{-431}	*
5	<573	*	829^{+1279}_{-488}	<500	491^{+979}_{-380}	<552
6	<177	26^{+4122}_{-26}	50^{+423}_{-50}	49^{+873}_{-49}	2437^{+5053}_{-1213}	1218^{+2658}_{-719}
7	<421	*	<227	321^{+1375}_{-321}	221^{+553}_{-221}	<51
8	68^{+512}_{-68}	*	<45	1858^{+18888}_{-1222}	532^{+739}_{-343}	44^{+694}_{-44}
9	176^{+720}_{-176}	<12416	148^{+457}_{-148}	<726	<236	356^{+1389}_{-356}
10	77^{+518}_{-77}	294^{+31875}_{-294}	248^{+588}_{-248}	<351	129^{+481}_{-129}	<72
11	539^{+824}_{-362}	*	206^{+526}_{-206}	154^{+1028}_{-154}	<201	184^{+880}_{-184}
12	22^{+399}_{-22}	*	62^{+409}_{-62}	*	<165	*
13	<36	*	98^{+345}_{-98}	*	54^{+391}_{-54}	<395
14	<223	*	<318	1009^{+5815}_{-766}	177^{+385}_{-177}	289^{+1111}_{-289}
15	508^{+602}_{-307}	*	198^{+422}_{-198}	<471	13^{+316}_{-13}	<325
16	<2	*	218^{+374}_{-211}	170^{+711}_{-170}	52^{+350}_{-52}	694^{+1308}_{-466}
17	<87	29^{+2580}_{-29}	161^{+330}_{-161}	1167^{+3113}_{-734}	137^{+365}_{-137}	<266
18	341^{+394}_{-228}	*	338^{+409}_{-233}	170^{+694}_{-170}	<242	1069^{+1698}_{-593}
19	302^{+298}_{-189}	220^{+25969}_{-220}	12^{+204}_{-12}	<272	67^{+282}_{-67}	<387
20	338^{+240}_{-166}	479^{+1778}_{-458}	363^{+326}_{-206}	<338	461^{+439}_{-254}	<404
21	397^{+278}_{-186}	371^{+1167}_{-371}	532^{+382}_{-239}	878^{+356}_{-247}	376^{+414}_{-238}	144^{+496}_{-144}
22	485^{+283}_{-193}	686^{+659}_{-344}	573^{+353}_{-229}	178^{+149}_{-112}	421^{+379}_{-230}	51^{+426}_{-51}
23	583^{+240}_{-176}	744^{+613}_{-337}	689^{+259}_{-190}	703^{+242}_{-181}	793^{+415}_{-269}	1223^{+1527}_{-600}
24	976^{+196}_{-159}	1038^{+3683}_{-721}	1114^{+179}_{-149}	1339^{+397}_{-287}	836^{+207}_{-163}	395^{+398}_{-234}
25	1043^{+165}_{-139}	907^{+295}_{-217}	1444^{+174}_{-150}	1271^{+362}_{-265}	1288^{+209}_{-173}	423^{+318}_{-206}
26	885^{+153}_{-128}	1704^{+361}_{-278}	1745^{+288}_{-234}	1192^{+298}_{-227}	976^{+138}_{-118}	555^{+278}_{-195}
27	1538^{+198}_{-168}	1886^{+524}_{-375}	952^{+112}_{-98}	1167^{+290}_{-221}	984^{+112}_{-98}	625^{+204}_{-157}
28	1025^{+320}_{-234}	759^{+718}_{-368}	552^{+107}_{-90}	645^{+178}_{-140}	557^{+96}_{-83}	475^{+173}_{-134}
29	592^{+146}_{-118}	481^{+2515}_{-481}	539^{+125}_{-104}	412^{+138}_{-112}	453^{+123}_{-101}	512^{+202}_{-152}
30	495^{+166}_{-130}	*	477^{+143}_{-115}	502^{+192}_{-147}	467^{+580}_{-297}	585^{+212}_{-160}
31	412^{+147}_{-117}	397^{+575}_{-287}	648^{+175}_{-139}	1234^{+562}_{-359}	467^{+550}_{-289}	366^{+162}_{-125}

Tabela D.2: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 10 segundos de arco para o Sul até 15 segundos de arco para o Norte.

N	-10''	-5''	0''	+5''	+10''	+15''
32	257 ⁺¹¹⁹ ₋₉₆	349 ⁺⁵³² ₋₂₇₀	380 ⁺¹⁰⁵ ₋₈₈	1316 ⁺⁴⁶³ ₋₃₁₉	451 ⁺¹⁰⁸ ₋₉₁	374 ⁺¹⁸³ ₋₁₃₇
33	519 ⁺¹⁵³ ₋₁₂₃	441 ⁺⁵⁸⁴ ₋₂₉₅	388 ⁺¹⁰¹ ₋₈₅	361 ⁺¹⁶⁴ ₋₁₂₆	408 ⁺¹⁰⁹ ₋₉₁	607 ⁺²³⁹ ₋₁₇₆
34	463 ⁺¹⁵² ₋₁₂₁	248 ⁺²⁴¹ ₋₁₆₁	349 ⁺⁹⁶ ₋₈₀	392 ⁺¹⁷⁰ ₋₁₃₀	508 ⁺¹⁰⁷ ₋₉₀	358 ⁺¹⁵² ₋₁₁₉
35	313 ⁺¹³⁸ ₋₁₀₉	415 ⁺⁷⁷⁷ ₋₃₃₃	349 ⁺⁹⁶ ₋₈₀	378 ⁺¹⁷⁰ ₋₁₃₀	615 ⁺¹⁰⁸ ₋₉₃	304 ⁺¹⁶³ ₋₁₂₄
36	374 ⁺¹³⁶ ₋₁₀₈	434 ⁺⁷⁰⁹ ₋₃₂₃	305 ⁺⁹⁰ ₋₇₅	327 ⁺¹⁸³ ₋₁₃₆	475 ⁺¹⁰⁸ ₋₉₁	423 ⁺²⁵⁵ ₋₁₇₈
37	279 ⁺¹²⁵ ₋₁₀₀	250 ⁺⁴³⁹ ₋₂₃₄	291 ⁺¹⁰⁴ ₋₈₇	404 ⁺²⁰³ ₋₁₄₉	319 ⁺¹²⁶ ₋₁₀₁	341 ⁺²⁷¹ ₋₁₈₀
38	276 ⁺¹⁶⁵ ₋₁₂₄	221 ⁺⁴⁸⁷ ₋₂₂₁	417 ⁺¹⁵⁹ ₋₁₂₄	286 ⁺¹⁷⁷ ₋₁₃₁	278 ⁺¹³² ₋₁₀₅	83 ⁺²⁰² ₋₈₃
39	172 ⁺¹⁹² ₋₁₃₅	208 ⁺³⁵⁶ ₋₂₀₄	280 ⁺¹⁵⁶ ₋₁₁₈	93 ⁺¹⁵⁰ ₋₉₃	138 ⁺¹²¹ ₋₉₅	426 ⁺⁴³¹ ₋₂₄₈
40	97 ⁺²⁰⁴ ₋₉₇	205 ⁺⁵⁵⁷ ₋₂₀₅	206 ⁺¹⁴² ₋₁₀₉	45 ⁺¹³⁰ ₋₄₅	194 ⁺¹⁵⁷ ₋₁₁₈	327 ⁺⁴⁵⁰ ₋₂₄₅
41	92 ⁺²⁰² ₋₉₂	169 ⁺³³⁹ ₋₁₆₉	269 ⁺¹⁸⁴ ₋₁₃₄	255 ⁺³⁴⁵ ₋₂₀₄	129 ⁺¹⁶⁰ ₋₁₁₆	227 ⁺⁴⁴⁸ ₋₂₂₇
42	18 ⁺¹⁸⁸ ₋₁₈	259 ⁺⁴²⁷ ₋₂₃₁	76 ⁺¹⁶⁴ ₋₇₆	191 ⁺³²⁶ ₋₁₉₁	152 ⁺²²⁴ ₋₁₄₉	255 ⁺⁴⁵¹ ₋₂₃₇
43	26 ⁺¹⁸⁰ ₋₂₆	272 ⁺⁴⁸¹ ₋₂₄₈	218 ⁺²⁰⁵ ₋₁₄₃	202 ⁺³⁴⁸ ₋₂₀₂	100 ⁺²³⁸ ₋₁₀₀	453 ⁺⁷⁶⁵ ₋₃₃₇
44	285 ⁺²⁹⁵ ₋₁₈₈	205 ⁺⁶²⁴ ₋₂₀₅	276 ⁺²⁴⁹ ₋₁₆₇	252 ⁺³⁷³ ₋₂₁₃	159 ⁺²⁶² ₋₁₅₉	500 ⁺⁸⁸⁷ ₋₃₆₇
45	229 ⁺²⁹² ₋₁₈₃	173 ⁺⁶⁶⁰ ₋₁₇₃	<178	240 ⁺³⁹⁸ ₋₂₂₀	294 ⁺²⁷² ₋₁₇₉	243 ⁺⁶³⁵ ₋₂₄₃
46	33 ⁺¹⁶⁷ ₋₃₃	285 ⁺⁴⁸⁰ ₋₂₄₉	162 ⁺²⁵⁷ ₋₁₆₂	583 ⁺⁹⁹⁸ ₋₄₀₀	264 ⁺²⁶⁶ ₋₁₇₅	85 ⁺³⁸² ₋₈₅
47	159 ⁺¹⁸⁶ ₋₁₃₂	180 ⁺²⁶³ ₋₁₆₇	52 ⁺²⁰² ₋₅₂	61 ⁺⁴⁷¹ ₋₆₁	147 ⁺²⁰⁶ ₋₁₄₁	179 ⁺⁵²¹ ₋₁₇₉
48	14 ⁺²¹² ₋₁₄	119 ⁺¹⁷⁰²¹ ₋₁₁₉	25 ⁺¹⁷⁰ ₋₂₅	18 ⁺³⁹⁹ ₋₁₈	84 ⁺²¹³ ₋₈₄	<394
49	<195	*	182 ⁺²⁶¹ ₋₁₆₇	101 ⁺⁴⁶⁵ ₋₁₀₁	206 ⁺³²⁴ ₋₁₉₃	*
50	<125	*	135 ⁺²⁹³ ₋₁₃₅	483 ⁺⁹⁶⁷ ₋₃₇₇	119 ⁺³⁷⁴ ₋₁₁₉	10 ⁺⁶²⁵ ₋₁₀

Tabela D.3: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 20 a 30 segundos de arco para o Norte.

N	+20"	+25"	+30"
1	153^{+1247}_{-153}	<151	62^{+459}_{-62}
2	276^{+995}_{-276}	60^{+578}_{-60}	178^{+548}_{-178}
3	<590	61^{+559}_{-61}	92^{+503}_{-92}
4	1069^{+3733}_{-733}	479^{+1052}_{-389}	<351
5	*	<479	*
6	645^{+1752}_{-500}	<359	<397
7	803^{+2193}_{-575}	238^{+730}_{-238}	96^{+475}_{-96}
8	*	*	667^{+1155}_{-440}
9	336^{+851}_{-332}	<230	926^{+1580}_{-549}
10	768^{+1826}_{-537}	343^{+880}_{-338}	*
11	438^{+980}_{-371}	423^{+882}_{-353}	<179
12	1813^{+9943}_{-1137}	<182	111^{+534}_{-111}
13	<397	<316	656^{+1131}_{-434}
14	184^{+753}_{-184}	640^{+1096}_{-426}	<322
15	*	283^{+764}_{-283}	<286
16	*	86^{+418}_{-86}	316^{+548}_{-270}
17	<33	51^{+355}_{-51}	<266
18	1490^{+3271}_{-836}	956^{+1207}_{-500}	410^{+624}_{-301}
19	*	55^{+362}_{-55}	<194
20	1187^{+2660}_{-711}	189^{+443}_{-189}	279^{+547}_{-265}
21	*	576^{+577}_{-309}	239^{+412}_{-224}
22	605^{+807}_{-369}	56^{+279}_{-56}	330^{+476}_{-253}
23	829^{+1094}_{-459}	49^{+259}_{-49}	394^{+554}_{-282}
24	340^{+510}_{-264}	392^{+448}_{-251}	254^{+415}_{-227}
25	615^{+713}_{-349}	374^{+426}_{-241}	182^{+380}_{-182}
26	732^{+268}_{-197}	512^{+180}_{-138}	436^{+270}_{-185}
27	455^{+177}_{-136}	532^{+162}_{-129}	329^{+235}_{-164}
28	585^{+192}_{-148}	424^{+142}_{-113}	443^{+277}_{-188}
29	541^{+182}_{-141}	515^{+154}_{-124}	436^{+270}_{-185}
30	566^{+187}_{-144}	517^{+155}_{-124}	319^{+229}_{-159}
31	489^{+138}_{-112}	404^{+98}_{-82}	343^{+124}_{-100}

Tabela D.3: Densidade eletrônica calculada para NGC 2579, nas posições de 20 a 30 segundos de arco para o Norte.

N	+20''	+25''	+30''
32	493^{+139}_{-112}	436^{+101}_{-86}	555^{+159}_{-128}
33	441^{+132}_{-107}	424^{+99}_{-83}	680^{+184}_{-145}
34	445^{+216}_{-158}	423^{+98}_{-84}	585^{+165}_{-131}
35	404^{+126}_{-102}	445^{+103}_{-86}	489^{+149}_{-119}
36	338^{+185}_{-137}	353^{+120}_{-98}	345^{+136}_{-109}
37	381^{+199}_{-146}	335^{+118}_{-96}	304^{+130}_{-103}
38	221^{+160}_{-120}	225^{+110}_{-89}	170^{+110}_{-88}
39	374^{+206}_{-150}	449^{+148}_{-118}	353^{+147}_{-116}
40	<62	285^{+119}_{-96}	415^{+161}_{-125}
41	18^{+314}_{-18}	244^{+273}_{-175}	130^{+283}_{-130}
42	213^{+448}_{-213}	286^{+306}_{-192}	373^{+408}_{-236}
43	217^{+452}_{-217}	336^{+320}_{-200}	167^{+314}_{-167}
44	457^{+667}_{-317}	177^{+253}_{-163}	101^{+250}_{-101}
45	508^{+825}_{-357}	113^{+236}_{-113}	*
46	<216	66^{+307}_{-66}	<266
47	86^{+562}_{-86}	711^{+827}_{-388}	948^{+1149}_{-488}
48	661^{+1469}_{-477}	133^{+371}_{-133}	188^{+463}_{-188}
49	225^{+857}_{-225}	376^{+561}_{-281}	105^{+395}_{-105}
50	627^{+1459}_{-468}	436^{+633}_{-307}	340^{+593}_{-285}

Apêndice E

Velocidades Radiais de NGC 2579

Os valores calculados para a velocidade radial V_{LSR} e seus respectivos erros estão apresentados nas tabelas a seguir, em unidades de km s^{-1} . As linhas das tabelas representam a posição ao longo da fenda com espaçamento de $5''$, ou seja, representam os espectros unidimensionais. A primeira coluna apresenta o número da abertura, e as demais colunas indicam o valor estimado para a velocidade radial V_{LSR} em cada posição utilizada na fenda em relação à estrela de referência adotada durante a observação, em segundos de arco.

Tabela E.1: Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, nas posições de 40 a 5 segundos de arco para o Sul.

N	-40''	-35''	-30''	-25''	-20''	-15''	-10''	-5''
1	43,91	48,95	40,32	40,90	39,79	41,20	35,94	29,78
2	45,92	51,10	42,83	38,84	40,84	33,94	34,76	28,91
3	49,89	50,18	44,98	40,48	35,27	31,02	33,34	31,65
4	41,26	52,60	44,02	45,97	39,15	33,62	29,37	32,75
5	40,66	51,33	47,81	48,02	40,98	40,65	34,16	32,52
6	44,78	52,70	48,27	51,22	48,79	42,12	36,31	33,30
7	46,28	52,42	49,32	57,66	50,57	47,42	34,62	33,85
8	47,15	57,58	53,25	52,73	49,57	49,38	38,23	34,12
9	43,54	51,97	53,34	54,14	52,17	46,23	35,58	34,58
10	52,82	55,57	52,43	48,25	50,84	48,05	37,18	39,10
11	53,45	57,36	54,21	54,87	52,26	47,19	45,08	38,64
12	55,78	57,49	55,17	55,06	50,07	47,83	45,45	42,34
13	56,01	58,41	58,41	58,03	54,59	48,69	50,42	47,23
14	57,15	58,04	61,10	61,82	56,74	53,35	51,25	49,10
15	62,36	64,16	61,29	63,87	59,34	55,77	52,21	57,69
16	66,06	64,48	61,20	62,32	57,97	58,97	54,12	54,77
17	65,24	65,90	61,74	62,41	61,08	59,93	53,80	54,49
18	64,14	63,98	61,61	63,42	64,55	60,98	59,70	58,15
19	63,09	63,07	58,64	58,67	64,23	62,90	59,10	55,77
20	61,45	66,72	63,89	58,80	62,77	64,55	60,89	59,20
21	61,86	63,98	62,57	59,49	59,66	60,89	58,10	58,88
22	59,85	62,47	59,78	61,45	58,34	59,25	57,50	56,92
23	58,21	59,27	59,92	60,95	60,80	61,90	59,24	52,94
24	56,88	57,08	57,86	61,73	65,23	66,56	61,52	50,98
25	57,34	56,76	58,77	62,91	66,24	67,10	60,93	52,21
26	56,42	58,86	59,60	62,69	66,92	66,78	63,40	49,97
27	56,52	58,50	60,65	64,47	64,41	63,63	54,31	50,15
28	56,24	56,94	57,54	62,32	60,99	60,43	57,05	56,55
29	55,65	57,49	59,19	59,35	59,16	59,06	55,77	60,43
30	56,47	58,91	59,41	57,02	56,05	56,55	56,96	59,79
31	57,34	58,36	58,59	56,20	53,95	52,90	53,67	56,64

Tabela E.1: Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, nas posições de 40 a 5 segundos de arco para o Sul.

N	-40''	-35''	-30''	-25''	-20''	-15''	-10''	-5''
32	56,06	56,67	56,49	54,65	52,49	51,34	50,65	52,85
33	54,41	55,48	54,39	53,00	51,07	50,25	49,97	50,47
34	55,56	55,16	53,61	53,46	50,75	51,02	50,01	49,88
35	54,41	53,70	54,39	53,96	51,26	51,16	50,88	50,93
36	53,32	53,24	54,44	54,60	50,80	50,66	51,02	53,44
37	52,77	53,06	52,33	54,78	51,03	50,38	51,43	55,04
38	51,54	52,88	51,88	53,32	49,61	48,51	49,24	54,17
39	49,75	52,38	52,20	52,18	48,56	46,91	49,28	53,67
40	49,02	53,66	52,52	50,63	49,06	46,78	48,83	53,95
41	49,53	52,56	50,00	51,86	48,79	48,28	49,83	50,02
42	49,98	51,83	51,47	53,18	50,52	49,56	47,77	48,24
43	49,75	50,96	51,05	52,54	49,89	48,65	47,96	47,28
44	47,47	49,45	51,92	52,50	47,65	46,91	47,91	45,72
45	48,38	49,77	50,92	50,85	49,47	47,83	46,86	44,40
46	46,92	49,54	49,91	49,62	50,11	49,01	45,67	42,43
47	49,16	50,73	48,54	48,16	50,11	49,42	43,53	39,69
48	46,69	48,49	45,89	48,98	46,51	43,90	38,73	39,83
49	45,83	47,08	45,44	47,70	41,98	40,65	36,77	36,59
50	50,07	50,50	49,91	48,66	40,61	38,64	36,58	37,00

Tabela E.2: Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, sobre a estrela de referência até 30 segundos de arco para o Norte.

N	0''	+5''	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
1	29,33	37,91	39,56	14,18	21,39	28,80	22,77
2	29,92	35,95	37,55	14,45	24,67	27,10	26,24
3	30,92	32,98	39,29	13,49	23,99	25,73	23,60
4	36,09	30,97	29,06	18,42	26,23	27,01	29,17
5	32,20	33,94	31,20	24,18	26,14	24,96	29,81
6	34,53	35,45	36,96	18,61	19,83	27,84	29,49
7	37,69	35,36	35,82	27,65	27,41	26,19	30,26
8	38,60	41,75	39,11	18,65	22,34	28,98	26,02
9	39,70	41,43	40,25	30,53	29,01	26,79	22,54
10	42,94	43,35	43,22	22,81	28,15	27,10	28,89
11	47,69	43,72	43,68	31,81	25,22	27,15	24,14
12	49,38	51,12	46,92	21,99	26,23	30,76	26,38
13	53,72	52,85	55,69	32,77	32,17	30,30	38,35
14	58,29	56,96	60,71	42,32	30,93	37,06	38,67
15	59,06	61,71	59,76	35,55	43,27	51,00	41,68
16	59,93	62,95	58,89	42,68	47,47	43,55	44,29
17	56,60	63,72	62,54	42,73	47,79	43,37	39,49
18	59,93	62,63	62,54	47,34	42,63	45,10	41,59
19	61,48	61,44	62,91	48,44	46,10	44,83	42,83
20	63,95	62,58	61,45	52,09	46,92	47,89	46,44
21	61,62	62,35	63,77	54,24	45,46	48,48	45,66
22	61,48	61,03	61,35	50,40	48,34	48,03	44,20
23	59,47	61,17	60,99	53,14	47,06	48,12	45,61
24	56,51	55,82	56,83	52,36	47,79	50,54	48,72
25	54,04	49,01	53,50	51,36	49,57	52,18	50,68
26	46,00	49,47	48,79	50,13	50,16	53,37	52,92
27	54,54	53,86	53,18	52,91	51,44	54,74	54,48
28	58,70	58,29	61,22	56,80	51,31	53,55	53,38
29	61,94	60,16	63,14	53,83	51,03	51,32	53,10
30	62,54	62,17	62,18	49,49	48,75	51,91	53,97

Tabela E.2: Velocidade radial V_{LSR} calculada para HII NGC 2579, sobre a estrela de referência até 30 segundos de arco para o Norte.

N	0''	+5''	+10''	+15''	+20''	+25''	+30''
31	58,15	68,43	68,98	47,48	47,61	51,54	53,15
32	54,91	57,01	56,74	46,88	46,65	50,04	52,05
33	55,00	56,00	53,82	45,01	44,09	51,13	51,96
34	55,91	51,44	51,94	44,55	45,96	50,81	50,23
35	55,64	50,93	51,44	46,38	46,83	48,16	47,62
36	57,24	50,43	50,76	45,06	45,23	45,74	45,80
37	54,54	49,88	50,53	45,06	43,13	44,01	45,29
38	52,35	49,70	51,26	43,14	40,75	44,19	44,70
39	53,08	49,01	50,66	43,69	41,85	44,24	43,97
40	52,71	48,01	49,25	42,22	40,89	43,23	44,11
41	51,16	47,64	50,07	40,17	39,25	41,31	42,96
42	49,29	47,32	51,03	37,47	36,19	41,31	37,94
43	47,92	46,73	51,03	40,99	33,76	41,04	37,94
44	47,96	48,88	52,35	40,58	37,37	36,42	38,53
45	47,83	50,29	49,29	42,77	36,00	34,00	35,97
46	44,86	48,37	48,29	41,68	36,05	38,11	39,86
47	44,40	49,29	50,21	39,44	36,00	36,06	36,75
48	46,18	50,02	52,54	34,14	30,70	31,72	32,05
49	43,99	50,80	51,76	25,28	27,28	28,48	26,79
50	41,25	45,91	46,96	23,40	23,90	22,81	22,50