

PROJETO DE PESQUISA

CLASSIFICAÇÃO ESPECTROFOTOMETRICA

DAS ESTRELAS DO

"BRIGHT STARS CATALOGUE"

JOSÉ ADOLFO SNAJDAUF DE CAMPOS

1 9 7 1

CURSO DE ASTRONOMIA

PROJETO DE PESQUISA

I - INTRODUÇÃO

O trabalho que será apresentado, não se limita apenas à descrição do projeto de pesquisas.

Considerando-se que os setores de Espectroscopia e Fotometria do Observatório do Valongo precisam ser organizados e como este projeto será o primeiro nestes campos, além do projeto propriamente dito, é apresentado um esboço de plano de trabalho e organização dos setores.

Além do mais, urge a necessidade de se apresentarem os planos de organização destes setores, uma vez que serão, do ponto de vista instrumental, os setores mais importantes, pois trabalharão com os telescópios de 60cm e de 50cm, além do Astrógrafo de 40 cm.

Convém ressaltar a importância da Espectroscopia Astronômica, que foi e é a base da Astrofísica e que cada vez mais se desenvolve tanto no campo teórico quanto no campo tecnológico.

A Fotometria surgiu com um setor auxiliar, permitindo estender a classificação estelar e outros dados a estrelas débeis, o que não ocorre com a Espectroscopia.

Hoje em dia, a Fotometria Estelar é um ramo importante da Astronomia, permitindo não só que se faça estudos de classificação, mas também estudos sobre a matéria interestelar, estudos evolucionários e muitas outras coisas, passando de um ramo auxiliar à um ramo principal.

No exame e tratamento do projeto, o ponto de vista adotado será o da visão espectroscópica, entrando a parte de fotometria fotoelétrica como elemento auxiliar. Portanto, os assuntos serão primeiro tratados do ponto de vista espectroscópico e depois, se

se fôr o caso, do ponto de vista fotométrico.

O projeto em si, visa preencher uma lacuna que se tem observado na Astronomia mundial moderna.

Os trabalhos astronômicos têm se orientado de modo a pesquisar casos muito particulares, esquecendo-se acidentalmente ou talvez propòsitalmente, de trabalhos gerais que abrangem um grande número de objetos astronômicos, mas que são de uma importância transcendental.

Uma das preocupações maiores em Astronomia é a padronização de métodos, procedimentos e equipamentos, porque quando se trabalha com quantidades quase imensuráveis e nos limites instrumentais, o ponto de vista instrumental passa a prevalecer sôbre os demais pontos de vista. Portanto, a homogeneidade em um trabalho é altamente desejável e pode conduzir a resultados interessantes. É justamente isso uma das metas principais do projeto, a homogeneidade e coerência dos resultados, em uma mostra muito grande, de modo a permitir resultados estatísticos realmente válidos.

O ítem II é dedicado a descrição e as principais características do instrumental que será utilizado.

Vale ressaltar que serão descritos neste ítem os instrumentos básicos e as características do fotoômetro fotoelétrico, embora este ainda não tenha sido adquirido. Discute-se as características neste ítem porque sem os instrumentos básicos indicados não se poderia criar um setor de Fotometria, que é essencialmente fotoelétrica, embora a fotometria fotográfica não esteja fóra dos planos inteiramente.

No ítem III, é estudada e sugerida a organização dos setores de Espectroscopia e Fotometria.

O ítem IV trata de um assunto que poderia, à rigor, ser incluído no ítem precedente, mas preferi desenvolvê-lo de

uma maneira independente. Este ítem refere-se a serviços preliminares que são necessários antes de se iniciarem os trabalhos científicos.

Já no ítem V, que dá o título ao trabalho, vamos ver com detalhes o projeto de pesquisa proposto, utilizando toda a infra estrutura já mencionada nos ítems anteriores.

No ítem VI estão relacionados os livros, as revistas utilizadas como consulta para preparação deste trabalho.

II - Instrumental

1. Telescópio refletor de 60 cm

O telescópio refletor de 60 cm tem como sistema ótico, o sistema Cassegrain, que consiste de um espelho primário parabólico e um espelho secundário hiperbólico (Figura 1).

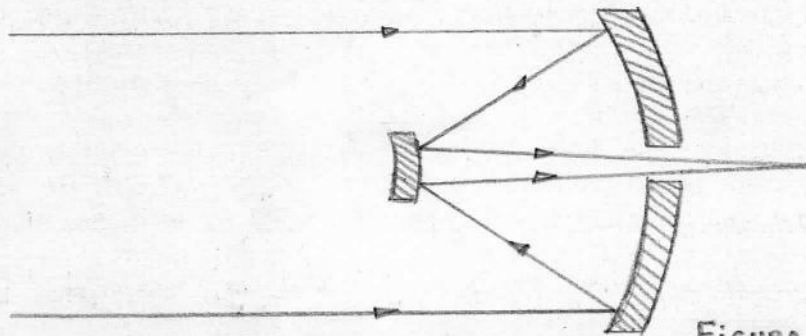


FIGURA 1

As suas principais características são:

- a. Diâmetro do espelho primário - 600 mm
- b. Distância focal do espelho primário - 2400 mm
- c. Relação focal do espelho primário - 1:4
- d. Diâmetro do espelho secundário - 183 mm
- e. Distância focal equivalente - 7500 mm
- f. Relação focal do telescópio - 1:12.5
- g. Escala do campo - 27,5"/mm
- h. Campo de visão do Cassegrain - 20'
- i. Sistema isento de aberração cromática e esférica
- j. Magnitude limite fotográfica - 22
- k. Telescópio guia
 - Abertura - 110 mm
 - Distância focal - 750 mm

O telescópio Cassegrain de 60 cm trabalhará acoplado com um espectrógrafo de rede. Será um telescópio espectrográfico pois somente trabalhará em Espectroscopia.

2. Telescópio refletor de 50 cm

É do tipo Cassegrain e trabalhará em fotografia, foto

metria fotoelétrica, polarimetria e espectrofotometria.

Suas principais características são:

- a. Diâmetro do espelho principal - 500 mm
- b. Distância focal do espelho principal - 2500 mm
- c. Relação focal do espelho principal - 1:5
- d. Diâmetro de espelho secundário - 160 mm
- e. Distância focal equivalente - 7500 mm
- f. Relação focal do telescópio - 1:15
- g. Escala de campo - 27,5"/mm
- h. Campo de visão do cassegrain - 16'
- i. Sistema livre de aberração cromática e esférica
- j. Magnitude limite fotográfica(3): 22
- k. Telescópio guia
 - Abertura - 150 mm
 - Distância focal - 2250 mm
- l. Telescópio procurador
 - Abertura - 110 mm
 - Distância focal - 750 mm

3. Astrógrafo

O astrógrafo é um refrator desenhado especialmente para a fotografia estelar. Normalmente, quem o utiliza é a Astrometria mas, com a colocação de um prisma objetivo, torna-se um poderoso auxiliar no campo da Espectroscopia.

Com a adaptação do prisma objetivo, o astrógrafo age como se fôsse um espectrógrafo muito rápido, permitindo a obtenção de espectros de estrelas débeis, em grande quantidade e num tempo extremamente curto quando comparado à um espectrógrafo de fenda.

Em compensação, a qualidade dos espectros obtidos não se pode comparar com os obtidos através de espectrógrafo de rede.

As principais características são:

- a. Diâmetro das lentes - 400 mm
- b. Distância focal - 2000 mm
- c. Relação focal - 1:5
- d. Tamanho da placa utilizada - 30 X 30 cm
- e. Escala do campo - 17'/cm
- f. Tamanho do campo útil - 8,5" X 8,5"
- g. Magnitude limite fotográfica (3) - 20
- h. Luneta guia
 - Abertura - 150 mm
 - Distância focal - 2250 mm

4. Microfotômetro

O microfotômetro ou microdensitômetro, mede densidades das placas fotográficas. Como é um aparelho muito sensível, ele registra as menores variações de densidades.

Utilizando o microfotômetro, que será o instrumento básico na redução dos espectros, como veremos mais adiante, podemos detectar as várias intensidades das raias de um espectro estelar.

Todo o espectro tirado será passado pelo microfotômetro e este fornecerá um registro gráfico do espectro. O microfotômetro do Observatório (Fotômetro Rápido G II - Zeiss Jena) se compõe de duas unidades básicas:

- a) A unidade leitora de densidades
- b) A unidade registradora

A unidade leitora trabalha como unidade detetora de variações luminosas, variações estas que são detetadas através de uma fotocélula.

A placa contendo o espectro é posta sobre um carro movediço. Embaixo deste carro existe uma fonte luminosa cuja luz atravessa

sa a placa. Logo acima da placa, bem em cima da fonte, está um sistema ótico que leva a luz que atravessou a placa para o catodo de uma fotocelula, que então registra sua intensidade.

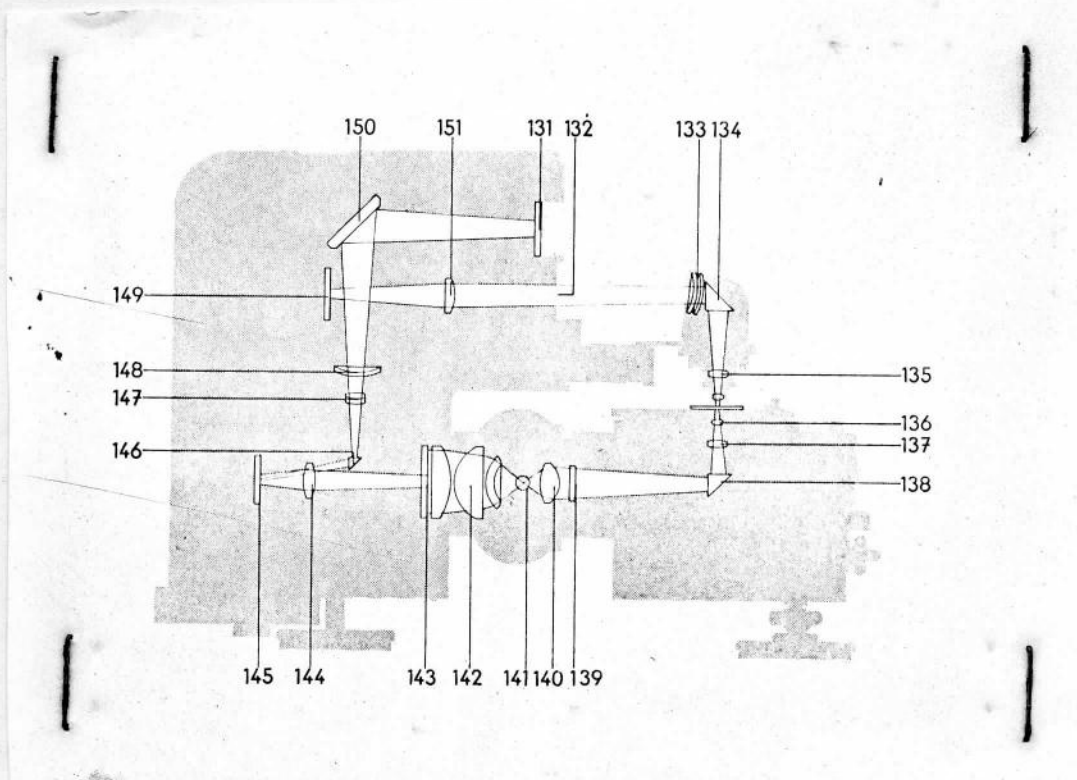


Figura 2 - Esquema do Microfotômetro

O espectro estelar está antrecortado de raias e é posto a caminhar numa direção paralela a este por um mecanismo a motor de precisão. Assim, todo o espectro passará sôbre a fonte luminosa.

Como há diversas densidades na placa, a luz resultante flutuará de acôrdo com a densidade. Esta flutuação é detetada pela fotocelula, que a transforma em corrente.

Esta corrente será amplificada e injetada na unidade registradora que então fará um registro gráfico do espectro. Isto é de uma maneira bastante esquemática o funcionamento de um microfotômetro.

Podemos ver o registro gráfico de um espectro estelar na figura 3.

Características do Microfotômetro

a. Lê placas de até 6 X 24 cm

b. Fenda de leitura

Altura - 0 a 20 mm - Precisão - 2mm

Largura - 0 a 3 mm - Precisão - 0,01 mm

c. Velocidades do carro e do registrador

Variam entre 900 mm/min e 0,66 mm/min

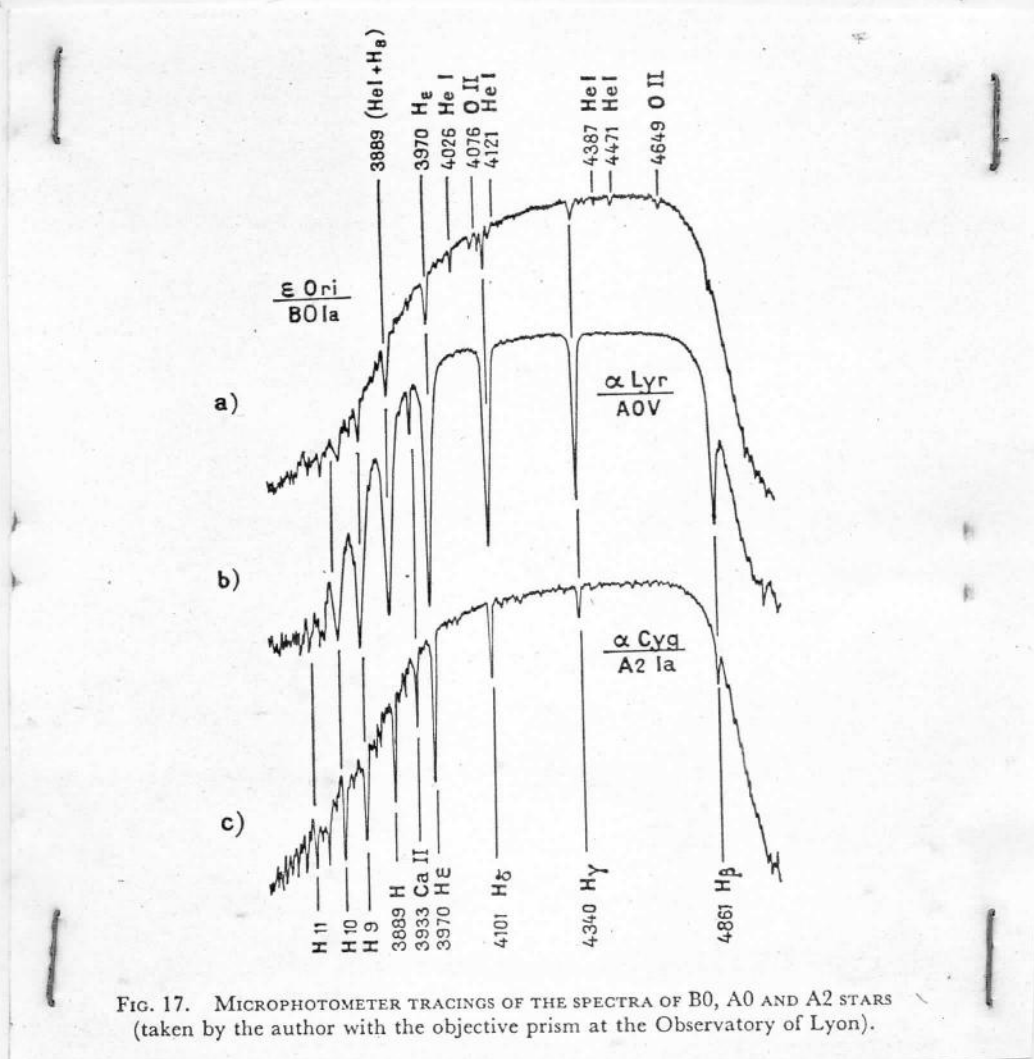


FIG. 17. MICROPHOTOMETER TRACINGS OF THE SPECTRA OF B0, A0 AND A2 STARS (taken by the author with the objective prism at the Observatory of Lyon).

Figura 3 - Registro gráfico de um espectro

3. Espectrógrafo

O espectrógrafo tem seu sistema de dispersão a rãde, sendo sua ótica tãda de reflexãõ, o que lhe proporciona um excelente rendimento, permitindo estender o campo espectral para o ultravioleta e para o infravermelho.

Cameras fotogrãficas de grande luminosidade (1:0,88 e 1:1.4), intercambiãveis, permitem tirar espectros de objetos

Handwritten signature

de pouca luminosidade em tempo reduzido.

Estas características permitem afirmar que o espectrógrafo, fabricado pela Zeiss Jena, é um aparelho rápido, o que é extremamente interessante quando se o utiliza em conjugação com um telescópio de tamanho médio (diâmetro de 60 cm), como mostra Abt (26).

O espectrógrafo é de construção modular, o que permite fazer alterações com o mínimo de tempo, como por exemplo troca das cameras ou da rede de dispersão.

Como fontes de comparação possui um arco voltaico de ferro e um tubo de descarga a neon, de modo que temos assim espectro de comparação em todo o espectro luminoso.

O espectrógrafo possui ainda um sistema de observação do campo estelar, dotado de cruz de mira iluminada, que serve para a localização de objetos em um campo muito grande e um telescópio de difração que serve para a orientação de objetos suficientemente claros para a fenda.

A fenda de entrada, com precisão de regulagem de 0,01 mm, pode variar a largura desde 0,003 a 3 mm e a sua altura desde 0,2mm até 10 mm.

Dispõem-se no espectrógrafo de um movimento com frequência de 0,1 Hz no sentido da altura da fenda, que permite alargar o espectro. Este movimento faz a imagem estelar andar para cima e para baixo de maneira regular entre os limites de 0 mm e 3mm.

Para calibração fotométrica dispõe-se de um filtro de platina com 6 estágios de densidades. As duas cameras fotográficas intercambiáveis tem abertura de 125 mm, ângulo de campo em torno de 5°, operando com placas de 50mm X 11,5 mm, com campo plano e tendo sistema de compensação para a temperatura. Suas distâncias focais são de 110 mm e 175 mm tendo, portanto, relações focais de 1:0,88 e 1:1,4 respectivamente.

As r edes de difrac ao, em n umero de duas, tem as seguintes características:

R ede n  1

- a. 325 traços/mm
- b. Blaze - 5000A
- c. Ordem espectral utilizada - 1 

R ede n  2

- a. 650 traços/mm
- b. Blaze - 5000A
- c. Ordem espectral utilizada - 1 

As dispersões disponíveis em A/mm são:

Camera	-	R�ede n�1	-	R�ede n�2
f = 110 mm	-	274 A/mm	-	137 A/mm
f = 175 mm	-	172 A/mm	-	86 A/mm

A faixa espectral de utiliza o do espectrógrafo varia entre 3400A e 9000A.

O esquema do espectrógrafo   mostrado na figura 4.

6. Fotômetro Fotoelétrico

Lado a lado com as observa es espectroscópicas serão feitas as observa es fotométricas. Hoje em dia, ao se falar de fotometria, entende-se imediatamente que   fotometria fotoelétrica.

No acôrdo MEC-RDA não foi incluída a aquisi o de um fotômetro fotoelétrico para equipar o telescópio Cassegrain de 50 cm. Havia, portanto, a necessidade de se projetá-lo.

O projeto do fotômetro fotoelétrico levou em conta as seguintes características básicas:

- a. O instrumento devia ser versátil e apresentar um manejo simples, tanto quanto possível.

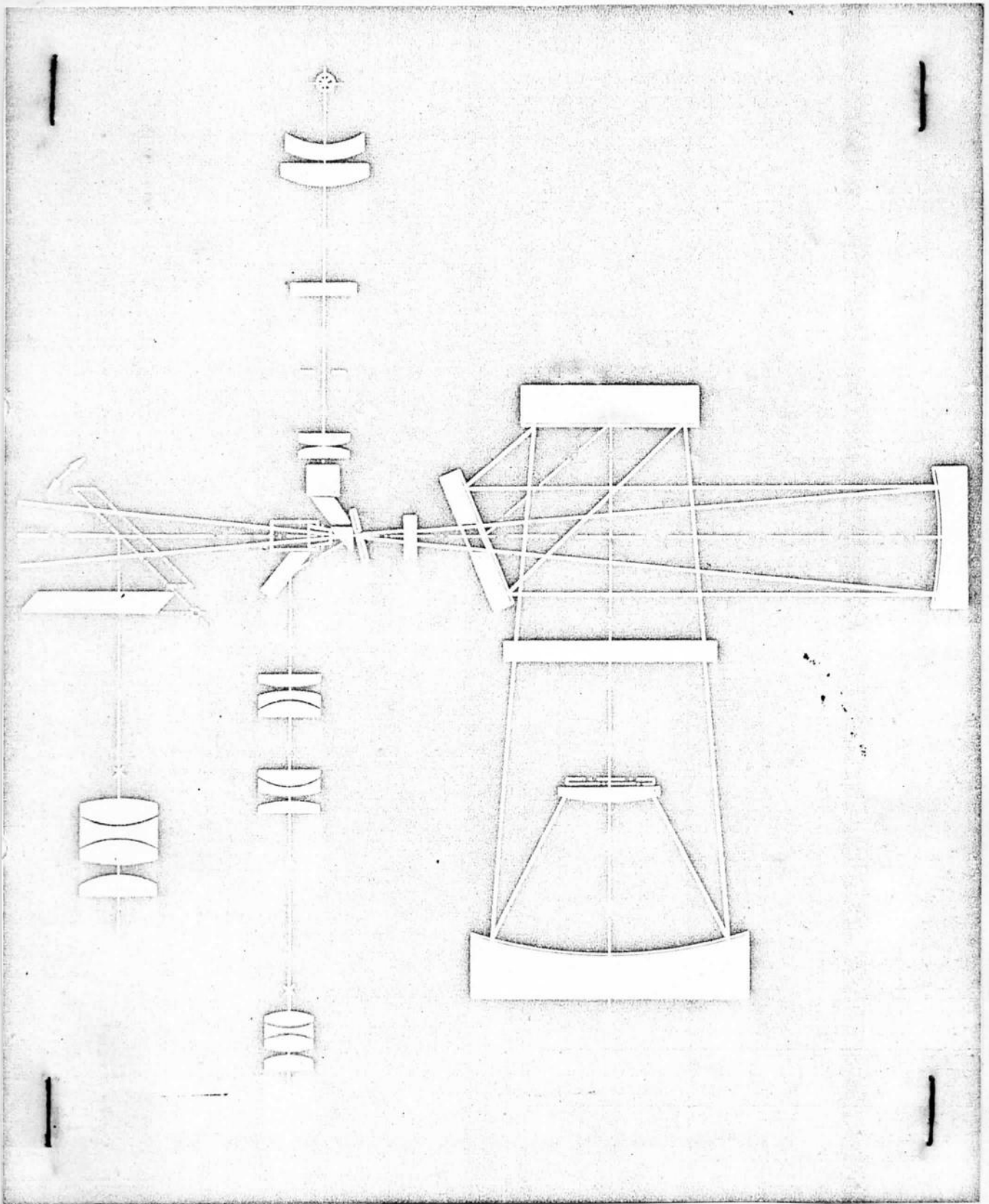


Figura 4 - Esquema do Espectrógrafo de Rêde

b. A eficiência deveria ser grande, aliada a grande precisão de medidas, uma vez que se pretende fazer fotometria de precisão.

Da primeira característica vê-se a necessidade de uma construção modular, de modo a permitir uma alta versatilidade. Devido a isto optou-se pelo projeto de um instrumento que com pequenas alterações pudesse servir à Polarimetria Fotoelétrica (figura 6), um campo relativamente novo e muito promissor (10) e à Espectrofotometria (figura 7) de média dispersão (33 A/mm), setor extremamente importante (6,11).

A segunda característica nos impôs o planejamento de um fotômetro duplo, isto é, apresentando dois canais. Embora isto encarecesse o preço do conjunto porque alguns equipamentos teriam que ser comprados em dobro, a alta eficiência, precisão e a economia de tempo observacional que este desenho proporciona, nos leva à conclusão de que seu custo final será muito mais baixo do que outro qualquer.

Com a medição simultânea da radiação do fundo do céu e da estrela, há uma redução do tempo de observação por um fator de dois, o que significa que com o mesmo tempo de observação podemos observar aproximadamente duas vezes mais, proporcionando alto rendimento.

Como vantagem adicional, a observação simultânea do fundo do céu e da estrela, aumenta a precisão das medidas de 20 a 100%(8).

No problema observação-obtenção de dados, a maior parte do tempo do astrônomo é dedicada à redução dos dados obtidos (9) e, portanto, se queremos alta eficiência devemos estabelecer uma rotina de trabalho, que seja a mais racional e eficiente, e procurar automatizá-la no que for possível.

A primeira assunção depende do astrônomo, mas a segun

da é um problema que envolve equipamentos, mais precisamente computadores.

O projeto faz a previsão para saída de dados através de fita magnética. Os resultados seriam obtidos via computador, portanto, de maneira rápida e segura, não sujeita a erros ocasionais e randômicos. Economiza-se, assim, um tempo preciso do astrônomo, deixando-lhe livre para a análise dos dados obtidos, trabalho que, em princípio, não pode ser feito por um computador.

Ainda do ponto de vista instrumental, cabe ressaltar que no tratamento dos dados são utilizados três métodos diferentes: Corrente alternada, Corrente contínua e Pulso.

A técnica de corrente alternada consiste na modulação do feixe de luz através de um "chopper" e este feixe modulado será amplificado como se fosse uma corrente alternada. Esta técnica apresenta certas vantagens quanto a eliminação da cintilação atmosférica, mas devido a presença do chopper, há perda de 70% do fluxo luminoso.

As técnicas de corrente contínua e pulso mais ou menos se equivalem quanto aos resultados (8), sendo que a técnica de pulsos é um pouco melhor para estrelas débeis, no limite de detecção do telescópio, vantagem esta que é contrabalançada em parte, pela melhor qualidade dos equipamentos para corrente contínua.

Na técnica de corrente contínua, que foi a adotada no projeto, a corrente que sai da fotomultiplicadora é amplificada através de um eletrômetro e sai sob a forma ou de corrente, entrando no registrador gráfico, ou de voltagem, entrando no conversor voltagem-frequência, de onde sai para o contador eletrônico que mede o valor da frequência, valor este que está relacionado ao fluxo estelar que incide no fotocátodo.

FOTÔMETRO FOTOELÉTRICO
2 Canais

14

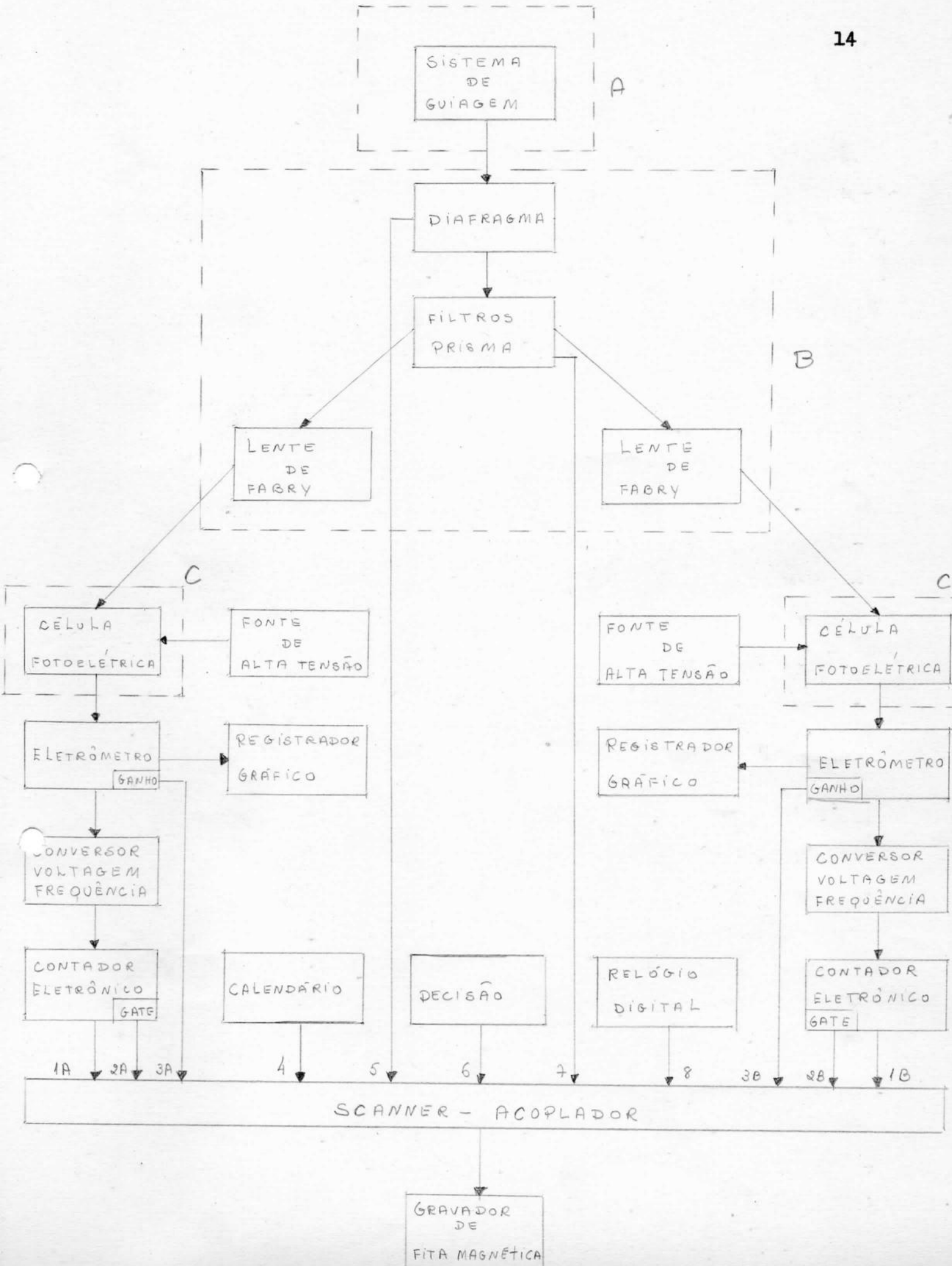


Figura 5. Fotômetro Fotoelétrico

2 CANAIS

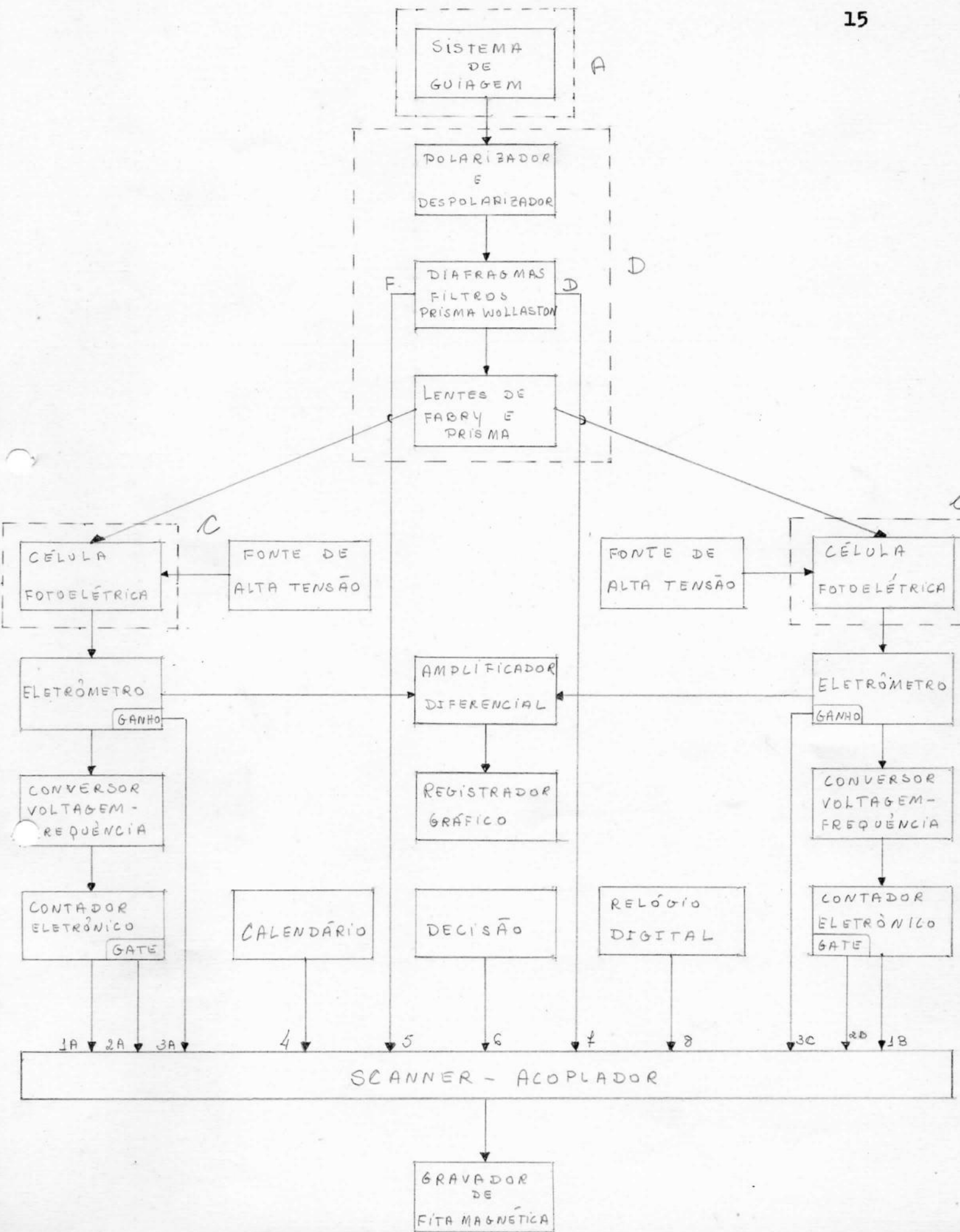


Figura 6 - Polarímetro Fotoelétrico

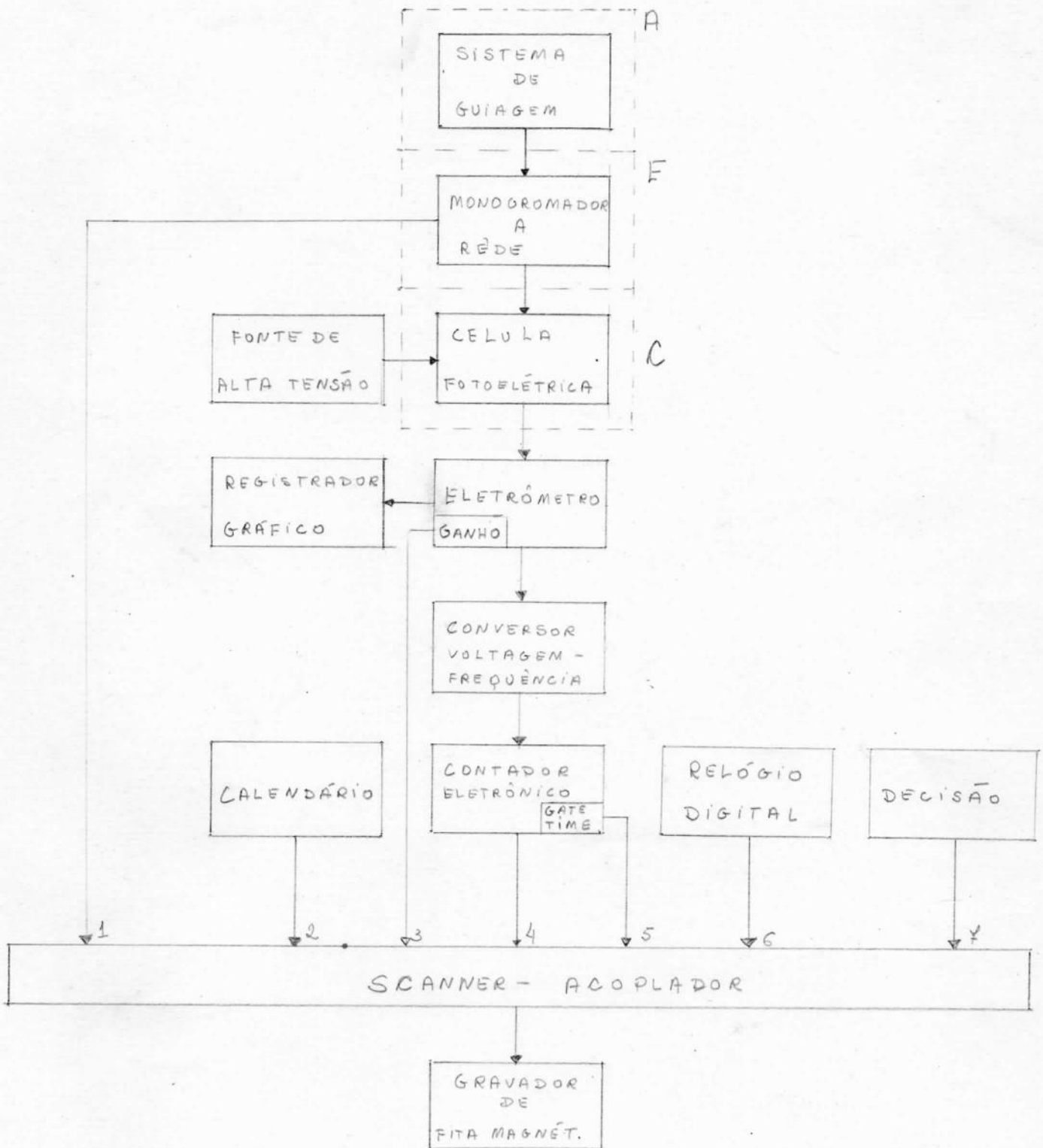


Figura 7 - Espectrofotômetro

7. Projeto de Espectros

O projetor de espectros permite a análise visual dos espectrogramas, aumentados de cerca de 20X. A classificação MK, como é comumente feita, está baseada na comparação entre as intensidades relativas de raias. Esta comparação é feita visualmente.

Portanto, o projetor de espectros permite fazer este tipo de comparação de uma maneira bastante cômoda e rápida.

De um modo geral, o projetor permite a análise qualitativa de um espectrograma e que se faça algumas medidas de posição de raias, mas muito grosseiramente, não servindo em absoluto para o trabalho de Velocidades Radiais.

No projeto propriamente dito, o projetor de espectros terá uma participação muito pequena, porque a parte mais importante que o instrumento poderia fazer, seria a comparação visual, mas esta comparação foi substituída por comparação através dos gráficos traçados pelo microfotômetro.

III - Organização

Importante se torna para o bom funcionamento e eficiência de pesquisas científicas, que os setores a qual elas estão subordinadas tenham organização. Quanto maior a organização maior será a eficiência. É preciso organizar.

É com este espírito que apresento apenas um esboço de plano para a organização dos Setores de Espectroscopia e Fotometria, que devem trabalhar estreitamente ligados. Este esboço será apresentado de maneira esquemática.

1. Instrumentos sob a responsabilidade do Setor de Espectroscopia.
 - a. Telescópio Cassegrain de 60 cm
 - b. Espectrógrafo de Rêde
 - c. Microfotômetro
 - d. Projeter de Espectros
 - e. Calculadora eletrônica simples

2. Instrumentos sob a responsabilidade do Setor de Fotometria
 - a. Telescópio Cassegrain de 50 cm
 - b. Fotômetro Fotoelétrico
 - c. Polarímetro Fotoelétrico
 - d. Espectrofotômetro
 - e. Calculadora eletrônica simples

3. Organização burocrática do Setor de Espectroscopia
 - a. Arquivo para espectros a classificar por ordem do número HS
 - b. Arquivo para espectros classificados por ordem do número HS
 - c. Arquivo para perfis traçados pelo microfotômetro por ordem do número HS

- d. Arquivo para placas sensitométricas por ordem de código interno
- e. Arquivo para fichas de observação de espectroscopia.

FICHA DE ESPECTROSCOPIA		DATA	K	Emuls.	Exposic.	Q	Reg.
Nome:	NºCat:						
AR:	DEC:						
	V:						
	B:						
Desenho do Campo Estelar vizinho	M(λ):						
	M(δ):						
	SP:						
	VR:						
	PX:						
	Obs:						

Figura 8 - Ficha de Espectroscopia

- f. Livro de controle de observação para espectroscopia
- g. Livro de observação espectroscópica, que ficará na estação de montanha.

4. Organização burocrática do Setor de Fotometria

- a. Arquivo para fichas de observação de fotometria

DATA	Amp.	Integ.	Sistema	Q	Reg.	FICHA DE FOTOMETRIA	
						Nome:	NºCat:
						AR:	DEC:
						V:	B:
						Desenho do Campo Estelar vizinho	M(λ):
					M(δ):		
					SP:		VR:
					PX:		Obs:

Figura 9 - Ficha de Fotometria

- b. Arquivo para cartões perfurados com dados observacionais de fotometria.

- c. Arquivo para perfis de espectrofotometria por ordem do número HS.
- d. Arquivo para fichas de observação de espectrofotometria (figura 10)

FICHA DE ESPECTROFOTOMETRIA			DATA	Amp.	Integ.	Fenda	Q	Reg.
Nome:	N ^o Cat:							
AR:	DEC:							
	V:	B:						
Desenho do Campo Estelar vizinho	M(α):	M(δ):						
	SP:	VR:						
	PX:	Obs:						

Figura 10 - Ficha de Espectrofotometria

- e. Livro de controle de observação para fotometria
- f. Livro de controle de observação para espectrofotometria
- g. Livro de observação para fotometria
- h. Livro de observação para espectrofotometria

Observação: Código utilizado nos cartões

AR: Ascensão Reta

DEC: Declinação

V: Magnitude visual em V

B: Magnitude em B

M(α): Movimento próprio em AR

M(δ): Movimento próprio em DEC

SP: Tipo Espectral

VR: Velocidade Radial

PX: Paralaxe

Amp: Amplificação

Integ: Tempo de integração

Q: Qualidade da imagem

K: Dispersão

Emuls: Emulsão fotografica

IV - Serviços Preliminares

Antecedendo a qualquer projeto que possa ser realizado, há uma série de serviços que devem ser feitos antes da rotina de observações.

Estes serviços preliminares são de duas naturezas distintas: o serviço de natureza bibliográfica e o serviço de natureza observacional.

O serviço de natureza bibliográfica, que consiste na localização dos objetos nos atlas estelares e pesquisa dos elementos conhecidos através dos catálogos e publicações especializadas, é indispensável a qualquer projeto de pesquisa. Isto significa que é indispensável para o bom andamento das pesquisas, não só no setor de Espectroscopia, mas em qualquer outro setor, que o Observatório possua uma biblioteca atualizada principalmente no setor de publicações e revistas especializadas. Para a Espectroscopia são indispensáveis os seguintes catálogos:

1. Córdoba Durchmusterung (CD) com atlas.
2. Bonner Durchmusterung (BD) com atlas.
3. Southern Durchmusterung (SD) com atlas
4. Cape Photographic Durchmusterung (CPD)
5. General Catalogue of Stellar Radial Velocities - R.E. Wilson
6. Catalogue of Stellar Spectra Classified in the Morgan Keenan System - C. Jaschek et al.
7. A general Catalogue of Rotational Velocities of 2558 stars
A.A. Boyarchuk and I.M. Kopylov
8. Bright Stars Catalogue - D. Hoffleit
9. Sixth Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems - A.H. Batten
10. Catalogue of Stars within 25 parsecs of the Sun -
11. An Atlas of Stellar Spectra - Morgan, Keenan and Kellman
12. An Atlas of Low Dispersion Grating Stellar Spectra -

ento

13. Henry Draper Catalogue and Henry Draper Extension

Para Fotometria

1. General Catalogue of Variable Stars - Kukarkin et all.
2. A Catalogue of Graded Photometric Studies of Close Binaries
3. Catalogue of Stars of Suspected Variability - Kukarkin et all.
4. Photoelectric Catalogue - Blanco et all.

O serviço observacional prévio consiste na obtenção de espectros das estrelas padrões no sistema **HK**, através do equipamento que será utilizado no projeto (Telescópio Cassegrain de 60 cm, espectrógrafo de rede).

De cada estrela padrão serão tiradas, no mínimo, 4 espectros, ou seja, dois espectros com 137Å/mm de dispersão, um no lado azul do espectro (3300Å a 5000Å) e outro no lado vermelho (5000Å a 7500Å), e dois com dispersão de 86Å/mm, um no azul e outro no vermelho.

Baseados nestes espectros e nos catálogos de espectros das estrelas padrões, vamos erigir um sistema de classificação, fundamentado na comparação de raias, que dê uma classificação para as estrelas padrões coincidentes com a de Morgan e Keenan.

Sem este esquema observacional prévio não é possível pensar-se em um projeto de classificação estelar, o mais homogêneo possível e com uma pequena variância dos erros.

V - Projeto de Pesquisa

1. Introdução

Existem dois problemas em Astronomia, o da obtenção de dados, problema quantitativo, e o da qualidade dos dados obtidos, problema qualitativo.

Além dos fatores quantidade e qualidade, intervem um terceiro elemento, o tempo. É justamente o tempo que irá determinar uma escala de valores para os dois fatores iniciais.

Assim, se desejarmos obter dados com uma qualidade Q e numa quantidade K , o tempo necessário para obtenção destes dados será dado por uma expressão do tipo

$$T \propto Q \times K$$

Vemos, então, que a quantidade e a qualidade são inversamente proporcionais ao tempo. Isto quer dizer que para um mesmo tempo T de observação, teremos que optar entre um número maior de dados com menor qualidade ou uma quantidade menor de dados com uma qualidade superior.

Se queremos qualidade e quantidade, a única solução possível é aumentar o tempo observacional. Ora, isto nem sempre é possível ou porque há pouco tempo de observação disponível, em razão de fatores climatológicos desfavoráveis no local da observação ou porque a relação tempo gasto na obtenção do dado versus qualidade não apresenta uma produtividade favorável.

A decisão de realizar um projeto que envolvesse uma quantidade muito grande de dados, com a máxima qualidade permitida pelo equipamento disponível acarretando, portanto, um gasto de tempo observacional muito grande deveu-se à várias considerações:

- a. Há uma carência, sempre crescente, de dados com qualidade alta. Devido aos progressos tecnológicos (equipamentos melhor desenhados e com maior eficiência, emulsões fotográficas

cas mais rápidas e de granulação mais fina, etc), pode-se obter uma qualidade superior nos dados atuais em comparação com os antigos, mesmo quando estes foram obtidos através de instrumentos maiores.

- b. Necessidade de grandes quantidades de dados, formando conjuntos homogêneos, permitindo uma amostragem estatística de melhor qualidade e mais significativa. Isto significa que a amostragem possui uma variância pequena.
- c. O problema da turbulência, não é um fator extremamente importante quando se trabalha com telescópios de médio e pequeno porte (1,2,23). Assim, praticamente, todo dia em que o céu estiver limpo ou mesmo parcialmente nublado, é um dia de trabalho e, portanto, o número de horas de observação aumenta consideravelmente.
- d. O número de dias claros previsto para o local onde será instalada a estação de montanha do Observatório é alto (cerca de 200 dias), permitindo assim uma alta relação trabalho x realizado/ano. Isto significa alta produtividade.
- e. Inicialmente, devido ao número reduzido de astrônomos é, sob todos os pontos de vista, vantajoso concentrar os esforços em projetos longos, que seriam os projetos mestres, e não diluir-se a força de trabalho em inúmeros pequenos projetos, sem um fim comum. Por outro lado, os projetos mestres têm a flexibilidade necessária para que dele partam projetos secundários de curta duração e de interesse momentâneo.
- f. Torna-se muito mais produtivo o emprego de computadores, porque a rotina será usada durante muito tempo e, portanto, a relação tempo de uso da rotina sobre tempo gasto no preparo da rotina, que corresponde a um índice de eficiência, é alta.

2. "Bright Stars Catalogue"

O "Bright Stars Catalogue", conhecido abreviadamente como HS, apresenta os dados mais atuais sobre as estrelas cuja magnitude em V é mais brilhante do que 6,5. Estão catalogadas 9110 estrelas pertencentes aos dois hemisférios celestes.

O catálogo fornece para cada estrela, o número do HS, o número do Durchmusterung (CD, CPD, BD), o número do Henry Draper Catalogue (HD), o número do catálogo de velocidades radiais de Wilson, a paralaxe trigonométrica, o tipo espectral (HD ou MK), a velocidade radial, os movimentos próprios em ascensão reta e declinação, a magnitude visual V (fotográfica ou fotoelétrica), o índice de cor (B-V) e (U-B), e observações sobre a duplicidade, a variabilidade, etc.

Aparentemente, o catálogo é completo e bastante atual (1964) dentro das possibilidades. Aliás é o que deveria esperar-se, uma vez que as estrelas brilhantes são acessíveis a qualquer telescópio e representam o ponto de partida para pesquisas sobre estrelas débeis.

Surpreendentemente ele não é completo. A noção de completude é uma ilusão, que pode ser desfeita ao se ver o seguinte quadro, reproduzido do "Bright Stars Catalogue".

QUADRO I

Paralaxes Trigonométricas	35%
Classe espectrais revisadas.....	75%
Classe de luminosidade	40%
Velocidades Radiais	75%
Movimentos Próprios ,.....	100%
Magnitudes fotoelétricas e índice de cor	50%

Podemos ver que logo após as paralaxes trigonométricas, cuja carência pode não ser devido à falta de observações e sim à impossibilidade de fazê-las, porque as estrelas estão mais distantes do que a distância máxima permitida pelo método (50 pc), vem a falta de classes de luminosidade ou seja classificação MK, magnitudes fotoelétricas e velocidades radiais.

O único parâmetro que é disponível para todas as estrelas é o movimento próprio.

Nesse quadro não entrou em consideração qualquer referência a qualidade dos dados obtidos, que formam um conjunto heterogêneo porque vem das mais variadas fontes.

Para se ter uma idéia da importância das estrelas pertencentes a este catálogo, vamos reproduzir um quadro sobre peculiaridades das estrelas aí contidas

QUADRO II

Binárias visuais	25%
Binárias espectroscópicas	10%
Variáveis confirmadas	3%
Suspeita de variáveis	5%
Membros de aglomerados ou associações ..	9%

Pelo quadro II se pode ver que o conjunto das estrelas do "Bright Stars Catalogue" formam subconjuntos significativos em diversas áreas da Astronomia.

3. Classificação a dois parâmetros

"Classificação estelar pode ser definida como a estimativa direta das características físicas das estrelas por comparação de suas características espectrais" (13).

Em 1890, foi criado um sistema que permitia a classificação sistemática dos espectros estelares, o sistema Henry Draper, mais conhecido por HD. A classificação HD era, inicialmente, um simples arranjo de espectros em ordem decrescente das razões das intensidades das linhas de Balmer em relação a um

número de outras linhas (p.ex. Hélio, que na época não era identificado como tal).

Pouco tempo mais tarde tornou-se claro para Pickering, Miss Maury e Miss Canon, que o critério utilizado refletia a variável temperatura. Como as linhas de Balmer têm um máximo em torno de 11.000°K , os observadores de Harvard tiveram que rearrumar a classificação original, que era em ordem alfabética, para a atual sequência - O, B, A, F, G, K, M.

Como se pode ver, a classificação HD é baseada em um só parâmetro - Temperatura.

Investigações posteriores, mostraram que só a temperatura não definia bem as características de uma estrela, havia necessidade de se acrescentar mais um parâmetro. Morgan, Keenan e Miss Kellnan criaram, então, a classificação a dois parâmetros (temperatura, luminosidade), conhecida como classificação MKK. Assim, a classificação MKK possuía duas variáveis, a temperatura e a luminosidade.

O primeiro parâmetro refletia a temperatura da superfície da estrela, a atmosfera estelar. O segundo parâmetro, fornecia indicações sobre o diâmetro e a pressão estelares. Devido ao parâmetro luminosidade, as estrelas puderam ser divididas em 6 classes:

QUADRO III

<u>Classe de luminosidade</u>	-	<u>Tipo da estrela</u>
I	-	Supergigantes
II	-	Gigantes brilhantes
III	-	Gigantes
V	-	Anãs ou da sequência principal
IV	-	Subgigantes
VI	-	Subanãs

A classificação MKK, foi revista mais tarde por Morgan, Keenan

e Johnson, sendo posta em bases mais seguras devido ao auxílio da fotometria fotoelétrica. Esta revisão fez com que a classificação MKK passasse a se chamar somente MK.

Como podemos classificar o espectro de uma estrela ?

Já vimos que desde a classificação HD, a classificação se faz por meio de razões entre as intensidades de certas raias. Isto está baseado na teoria de formação de linhas que afirma que temperatura e pressão afetam a intensidade das raias.

Do ponto de vista teórico, podemos fazer previsões do comportamento das raias em relação à variações de temperatura e pressão, com certa precisão. Estas previsões são feitas baseadas em modelos do comportamento da atmosfera estelar, que é a responsável pela emissão das linhas espectrais.

Um dos modelos mais bem sucedidos é o do Equilíbrio Termodinâmico, que supõe que finas camadas da atmosfera da estrela estejam em equilíbrio termodinâmico local.

Fundamentos neste modelo pode-se fazer previsões quanto ao comportamento das raias em relação à variações de temperatura (figura 11 e 12) e de pressão.

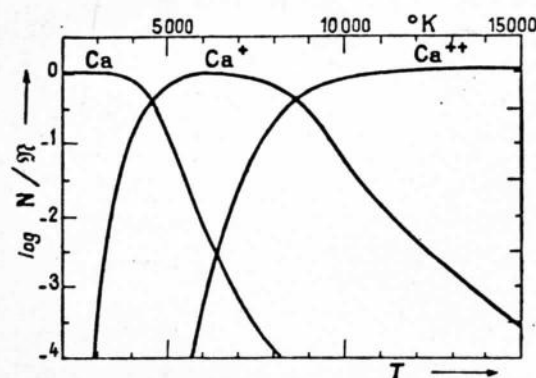


FIG. 47. RATIO OF THE NUMBER OF NEUTRAL Ca ATOMS, Ca⁺ AND Ca⁺⁺ IONS TO THE TOTAL NUMBER OF CALCIUM ATOMS, FROM 2000 TO 15,000° K.

Figura 11 - Variação das raias do Cálcio com a temperatura

Esta variação pode ser constatada na prática, vendo-se os traços do microfotômetro para estrelas de diversas classes espectrais (Figuras 13,14 e 15).

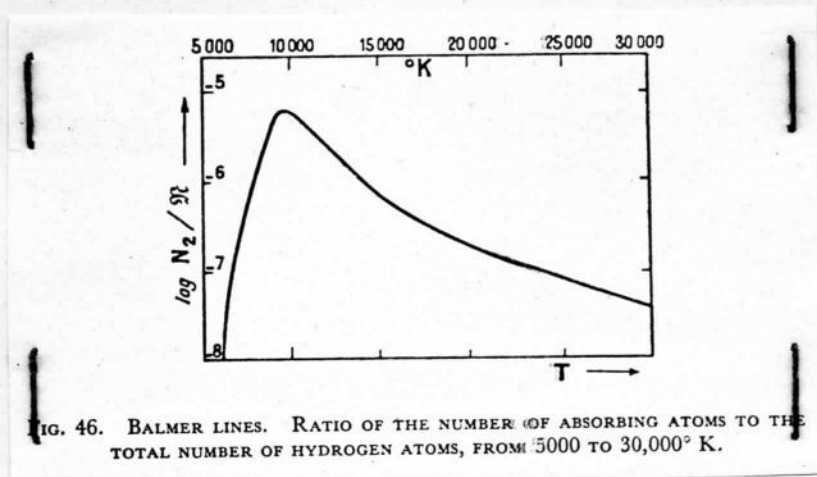


Figura 12 - Variação das linhas de Balmer com a temperatura

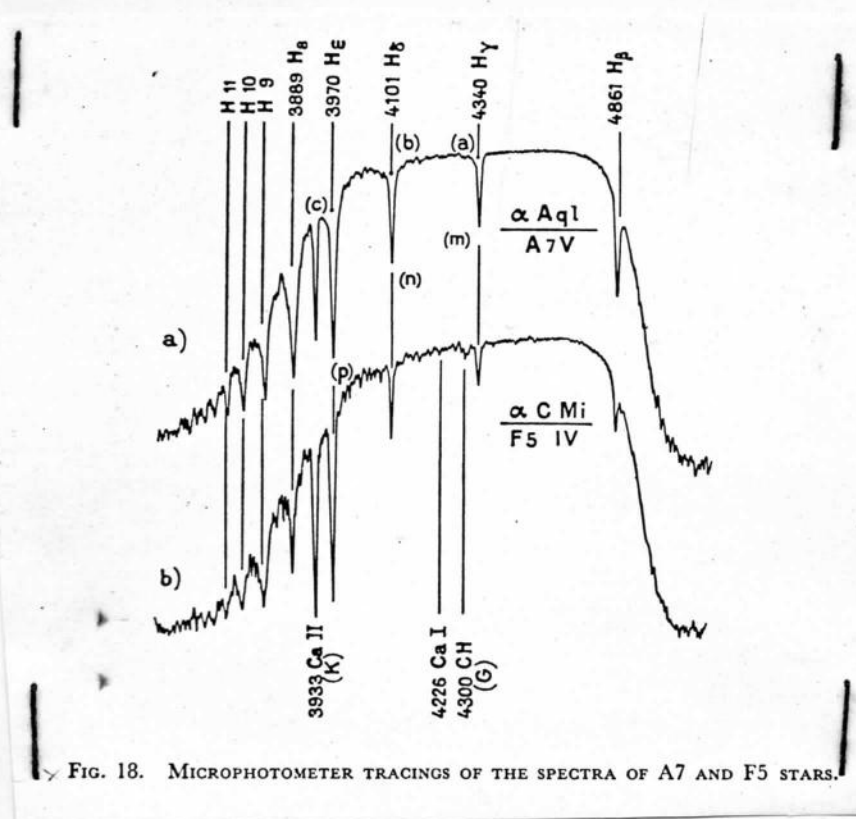


Figura 13 - Perfis do microfotômetro para estrelas classe A7 e F5

Numa determinada faixa de temperatura certas raias apresentam uma rápida variação de intensidade enquanto outras apresentam uma intensidade quase constante. O mesmo se dá para uma determinada faixa de pressão.

Se fizermos razões entre raias que mais variam e que menos variam, obteremos indicadores de temperatura e pressão estelares.

Fig. 19. MICROPHOTOMETER TRACINGS OF THE SPECTRA OF G2, K2 AND M2 STARS.

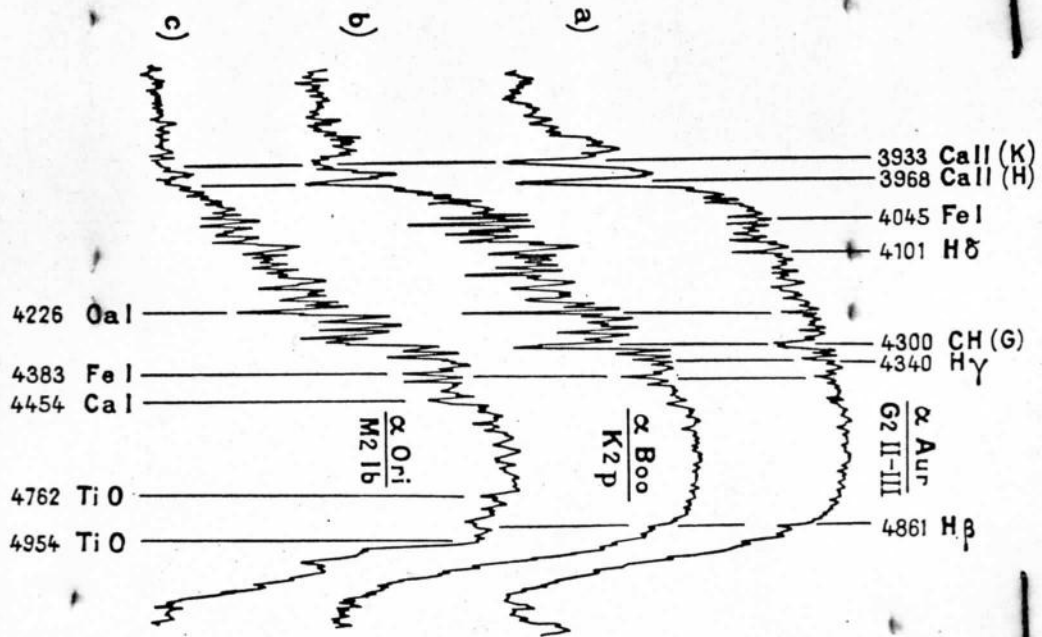


Figura 14 - Perfis para estrelas G2,K2,M2

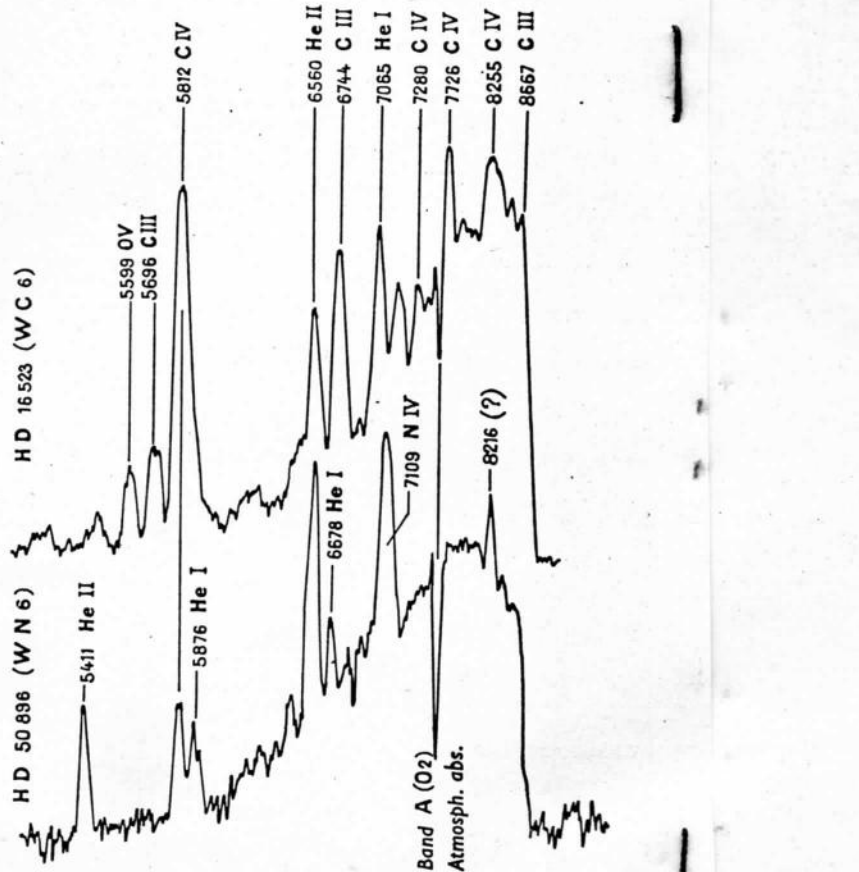


FIG. 24. SPECTRA OF WR STARS IN THE RED AND NEAR INFRARED (Y. ANDRILLAT, Haute Provence Observatory).

Figura 15 - Perfis para estrelas W no infravermelho

Esse mecanismo é o empregado na classificação MK, sendo que a escolha das raias foi feita experimentalmente e não com base teórica.

Uma relação das características espectrais e razões utilizadas na classificação MK, válidas para uma dispersão no entorno de 125 A/mm é mostrada na figura 16.

4. Projeto: Classificação Espectrofotométrica das estrelas do Bright Stars Catalogue

Já vimos pelo quadro I que há carência de dados. Esta carência se refere, principalmente, a dados no hemisfério sul. Podemos ver, também, pelo quadro II a importância da obtenção dos parâmetro paralaxe trigonométrica, classe MK, velocidade radial, magnitude fotoelétrica, índice de cor e movimentos próprios, para o maior número possível destas estrelas de uma maneira homogênea.

O projeto mestre consiste em classificar todas as estrelas no hemisfério sul celeste, segundo o esquema da classificação MK, isto é, obter a classe espectral e a classe de luminosidade. Complementando a classificação MK, obtém-se a velocidade radial, as magnitudes fotoelétricas e índices de cor das estrelas.

O projeto será enfocado de dois modos distintos: o enfoque espectroscópico e o enfoque fotométrico.

5. Enfoque Espectroscópico

Antes da partida do projeto, há necessidade de realizar-se alguns serviços preliminares, a que me referi no item IV. Falei da necessidade de se tirar os espectrogramas das estrelas padrões do sistema MK e baseados nestes, eleger quais seriam as raias que seriam tomadas para fins de classificação.

Normalmente a razão entre as raias é obtida por compa

Spectra and absolute magnitudes

TABLE
MKK (YERKES)

Criteria for spectral types	
	Ratios of Si III/Si IV, Si II/Si III, Si II/He I
B0	4552 Si III/4089 Si IV (<1)
B1"..... (>1)
B2-B3	4128-31 Si II/4121 He I. In B3 the K line appears.
B54144 He I
B9	4481 Mg II >> 4471 He I
Increasing intensity of metal lines	
A0	He I very weak or absent; Fe II very weak
A1	4030-34 Mn I appears, 4385 (blend)/4481 Mg II
A2-A5/4128-31, 4300 (blend)/4385
"....."	
F0"
F2	G band shades off toward the red (GH)
F5	G band is intensified, 4045 Fe I/H δ , 4226 Ca I/H γ
"....."	
G0"
G5	4030-34/4300 violet side of G, 4325 Fe I/H γ
"....."	
K0, 4290 (blend)/4300, 4096/H δ
K5	4226 Ca I/4325 Fe I,
Increasing intensity of TiO bands	
M0	Band heads: 4762, 4954, 5168, 5445, 5763, 5816, 5857 (farther out
M5	6651, 7054, 7589)

Blend = mixture of many lines of

The Yerkes two-dimensional classification

III
CLASSIFICATION

Criteria for increasing luminosity	Type stars
4089 Si IV/4009 He I	B0 Ia ϵ Ori, V δ Sco
3995 N II/4009, 4552/4387 He I	B1 Iab ζ Per
....."	B2 III γ Ori, V ζ Cas; B3 V η UMa
Balmer lines sharper	B5 III δ Per
....."	B7 V α Leo; B8 Iab β Ori
....."	B9 III γ Lyr
"....."	
(Fe II a little stronger)	A0 III α Dra, IV γ Gem, V α Lyr
4416 (blend)/4481, 4416/4300	A1 V α CMa
....."	A2 Ia α Cyg; A3 III β Tri
....."	A4 III α Oph; A5 V δ Cas
....."	A7 III γ Boo
"....."	
....."	F0 Ib α Lep; V γ Vir
.....".....and 4172/4226 Ca I	F2 IV β Cas
4077 Sr II/4226, 4045, 4063, 4250	F5 Ib γ Cyg, V β Vir
Fe I	G0 Ib α Aqr, II α Sag, IV η Boo
....."	G2 V the sun, 16 Cyg A
4077/4062 Fe I, 4085, 4144, 4250	G5 IV μ Her; G8 II ζ Cyg
Fe I	G8 III δ Boo, IV β Aql, V ζ Boo A
CN bands stronger 4215-4144	4077/4063, 4077/4071
4077/4063, 4077/4071	CN band 4216
....."	K0 III ϵ Cyg, IV η Cep; K1 IV γ Cep
....., 4215 Sr II/4250	K2 Ib ϵ Peg, III α Ari, V ϵ Eri
Fe I	K3 Ib η Per, II γ Aql, III δ And
....."	K5 II ζ Cyg, III α Tau, V 61 Cyg A
Increasing intensity of H lines	
(ζ 36)	M0 III β And
For giants and supergiants:	M2 Ia μ Cep, Ib α Ori
decreasing intensity of 4226	M5 II α Her
Ca I, 4077 Sr II/4045 Fe I,	
4215 Sr II/4250 Fe I	

the same element or different elements.

Figura 16 - Classificação MK

ração visual, o que pode ser feito através do projetor de espectros.

Para este tipo de comparação há necessidade de experiência por parte do astrônomo que vai classificar. O olho humano é capaz de reconhecer diferenças de intensidades de até $1/5$ da raia mais intensa, quando as raias se encontram próximas mas, quando estas não estão próximas a capacidade de percepção cai a $1/2$. Então a classificação MK feita por observação visual do espectro de uma estrela é dependente da experiência pessoal do observador e da aptidão de seu olho para reconhecer contraste. É, portanto, uma classificação subjetiva, isto é, varia de astrônomo para astrônomo. Por isso, justifica-se encontrar para uma mesma estrela as mais variadas classificações e às vezes variando por uma faixa muito grande, como por exemplo, encontra-se uma estrela classificada como A5 e em outra publicação como F6. Isto é comum ocorrer, veja-se o "Catalogue of Stellar Spectra Classified in the Morgan-Keenan System - C. Jaschek - 1965".

Evidentemente, tal tipo de classificação não se coaduna com os objetivos de obter-se alta qualidade de maneira homogênea. Necessitamos de uma classificação objetiva, independente dos méritos do astrônomo que irá classificar. Tal tipo de classificação é obtida quando se passa o espectro por um detetor impessoal. Este detetor é a fotocelula, cuja resposta é linear com o estímulo recebido. O aparelho que utiliza uma fotocelula como detetor é chamado de Microfotômetro ou Microdensitômetro e serve para detetar variações pequenas de densidades nas placas fotográficas, registrando-as por meio de um registrador gráfico.

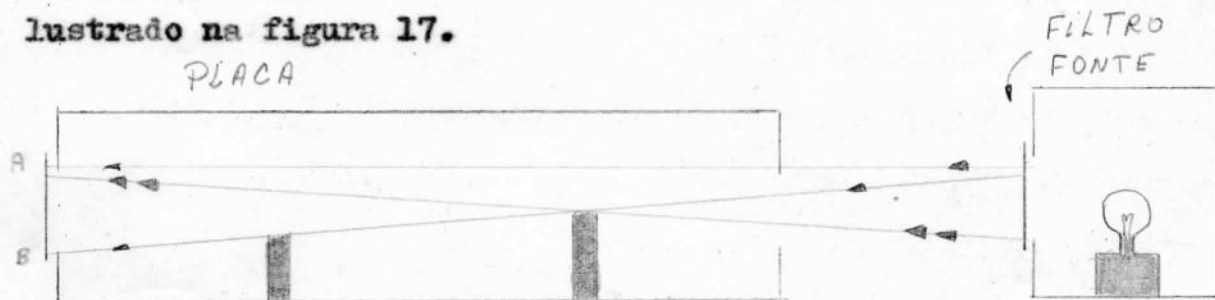
Obviamente, o trabalho de redução de um espectrograma

será facilitado por um lado, mas demorará muito, porque a passagem de um espectro através do microfotômetro demora cêrca de 1 hora.

Põe-se novamente o dilema - qualidade versus tempo dispendido. A opção continua sendo pela qualidade. Uma vez escolhida as raias que servirão para a formação das razões entre as intensidades relativas, o projeto está pronto para iniciar-se.

De cada estrêla serão tirados 3 séries de espectrogr^{ma}mas no mínimo. Cada série consistirá de um espectro com dispersão de 137A/mm no lado azul do espectro (placa IIa-0), um espectro com dispersão de 137A/mm no lado vermelho (placa IIa-F), um espectro com dispersão de 86A/mm no lado azul e, finalmente outro espectro com dispersão de 86A/mm no lado vermelho. Tôdas as placas só servirão ao propósito de classificação quando estiverem corretamente expostas, isto é, que a máxima e a mínima densidade estejam dentro dos limites da latitude da placa.

Para cada placa estelar obtida haverá uma outra placa tirada para fins de padronização sensitométrica. Esta padronização será feita por meio de um fotômetro de King, cujo esquema é ilustrado na figura 17.



De A para B a intensidade luminosa decresce, formando uma escala de densidades contínuas. Para uma placa 0 se usará um filtro azul e para uma placa F, o filtro usado será vermelho. A intensidade da fonte, conjugada com o filtro dará uma intensidade resultante semelhante a da estrêla e, assim, o tempo

de exposição que dermos para a placa estelar daremos para a placa sensitométrica.

Os espectros estelares serão passados através do micro fotômetro e pelo registro gráfico resultante serão, então, classificadas. Para termos uma idéia da quantidade de trabalho envolvida, vamos passar aos números.

Supondo que o "Bright Stars Catalogue" possui cerca de 5000 estrelas no hemisfério sul, teremos um total de 15.000 séries de espectros e, portanto, 60.000 espectros terão que ser tirados para a compleção do projeto.

Vamos calcular agora o tempo de exposição necessário para cada espectro estelar, de acôrdo com a magnitude da estrela.

Temos que o telescópio utilizado pelo espectrógrafo tem as seguintes características:

- a. Diâmetro do espelho primário - 600 mm
- b. Distância focal equivalente - 7500 mm
- c. Relação focal - 1: 12,5
- d. Escala de campo - 27,50"/mm = E

Chamando de H a altura e L a largura da fenda do espectrógrafo temos as seguintes relações (18).

$$H = a \cdot \frac{f_{co}}{f_{ca}} \qquad H'' = H \cdot E$$

$$L = b \cdot \frac{f_{co}}{f_{ca}} \qquad L'' = L \cdot E$$

onde

a = Constante dependente da resolução da placa

b = Constante dependente da largura do espectro desejada

fco = Distância focal do colimador

fca = Distância focal da camera

Para o nosso espectrógrafo

diâmetro do colimador = 75 mm

distância focal do colimador - fco = 937,5 mm

a = 0,015 mm

b = 0,25 mm

$$fca_1 = 110 \text{ mm}$$

$$fca_2 = 175 \text{ mm.}$$

Então

$$\frac{fco}{fca_1} = 8,52$$

$$\frac{fco}{fca_2} = 5,36$$

$$H_1 = 0,128 \text{ mm}$$

$$H_2 = 0,080 \text{ mm}$$

$$H_1'' = 3,52''$$

$$H_2'' = 2,21''$$

$$L_1 = 2,13 \text{ mm}$$

$$L_2 = 1,34 \text{ mm}$$

$$L_1'' = 58,59''$$

$$L_2'' = 36,83''$$

Supondo que a turbulência seja sempre menor do que 2,21'', toda a luz estelar entrará pela fenda e então, o tempo de exposição será dado pela seguinte fórmula (3,4).

$$m = 2,5 \log \left(\frac{K D^2 g q t}{W} \right)$$

$$\log t = \frac{m}{2,5} + \log \left(\frac{W}{K D^2 g q} \right)$$

onde

W = largura do espectro = 0,25 mm

D = diâmetro do telescópio = 600 mm

g = eficiência luminosa do sistema telescópio-espectrógrafo = 0,4

q = eficiência quântica da emulsão = 0,002

m = magnitude da estrela

t = tempo de exposição

K = dispersão linear

Para

$$K_1 = 274 \text{ A/mm}$$

$$\log \frac{86.8056}{K_1} = - 0,499203$$

$$K_2 = 172 \text{ A/mm}$$

$$\log \frac{86.8056}{K_2} = - 0,296981$$

$$K_3 = 137 \text{ A/mm}$$

$$\log \frac{86,8056}{K_3} = -0,198173$$

$$K_4 = 86 \text{ A/mm}$$

$$\log \frac{86,8056}{K_4} = 0,004049$$

Os tempos necessários para se tirar um espectrograma de estrelas cujas magnitudes variam de 1 a 11, são mostrados no quadro IV.

As magnitudes limites para uma hora de exposição ($t = 3600s$) seriam de

<u>Dispersão</u>	-	<u>Magnitude</u>
274A/mm	-	10.1
172 A/mm	-	9.6
137 A/mm	-	9.4
86 A/mm	-	8.9

Os espectros com tempo de exposição inferiores a 20 s, teriam que ser tirados através de filtros neutros que reduzissem uniformemente as intensidades, de modo a permitir o alargamento do espectro sem super-expor a placa. Somente usaremos em nosso projeto de pesquisa as dispersões de 137 A/mm, dispersão que coincide aproximadamente com a da classificação MK, e a dispersão de 86 A/mm, que permitirá analisar com mais detalhes o espectro estelar.

Vamos agora calcular o tempo necessário para a obtenção de uma série (4 espectros), em função da sua magnitude.

Em primeiro lugar, vamos calcular o tempo de Observação gasto baseado no quadro IV. A este tempo vamos acrescentar o tempo gasto na troca de cameras, colocação da placa no chassi, etc. Suporemos que este tempo é da ordem de 5 minutos. Ao tempo resultante chamaremos de Tempo de Sequência.

Se somarmos a este tempo de sequência, o tempo gasto na calagem da estrela, obteremos o Tempo de Operação necessário para cada estrela. Supondo que não se perca mais do que 10 minu -

QUADRO IV

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	K
T ₁	0,8	2	5	12	31	79	200	502	1261	3168	7957	274
T ₂	1,3	3,2	8	20	50	127	318	800	2009	5012	12673	172
T ₃	1,6	4	10	25	63	159	400	1004	2523	6336	15914	137
T ₄	2,6	6,4	16	40	101	254	637	1600	4018	10094	25356	86

Observação: Os tempos são dados em segundos.

tos nesta operação, podemos elaborar o seguinte quadro

QUADRO V

<u>m</u>	<u>-</u>	<u>Tempo Observação</u>	<u>-</u>	<u>Tempo Sequência</u>	<u>-</u>	<u>Tempo Operação</u>
1	-	80 s	-	380s = 6m 20s	-	16 m
2	-	80 s	-	380s = 6m 20s	-	16 m
3	-	80 s	-	380s = 6m 20s	-	16 m
4	-	130 s	-	430s = 7m 10s	-	17 m
5	-	330 s	-	630s = 10m 30s	-	21 m
6	-	830 s	-	1130 = 18m 50s	-	29 m
7	-	2080 s	-	2380 = 39m 40s	-	50 m

Supondo que uma noite limpa tenha 10 horas de observação, podemos calcular o número de estrelas de uma dada magnitude, que poderiam ser observadas por noite.

Nós sabemos também que o número de estrelas de uma dada magnitude aparente (m_k) é dada pela razão

$$\frac{m_k}{m_i} \approx 4$$

onde

$$m_k = m_i + 1$$

Vamos calcular o número de estrelas de cada magnitude. Supondo que para $m = 1$ este número seja 1, vamos obter uma escala de pesos, que multiplicado pelo número de estrelas de cada magnitude observáveis numa noite, vai nos dar o número médio de estrelas observadas por noite de todas as magnitudes.

QUADRO VI

<u>m</u>	<u>-</u>	<u>Nº Estrelas observáveis</u>	<u>-</u>	<u>Nº Espectros</u>	<u>-</u>	<u>Nº Estrelas</u>	<u>-</u>	<u>Estrelas x Est.Observ.</u>
1	-	37	-	148	-	1	-	37
2	-	37	-	148	-	4	-	148
3	-	37	-	148	-	16	-	592
4	-	35	-	140	-	64	-	2240
5	-	25	-	100	-	256	-	6400
6	-	20	-	80	-	1024	-	20480

m	Nº Estrêlas	-	Nº Espectros	-	Nº Estrêlas	-	Estrêlas x
	- Observáveis	-		-		-	Est. Obsev.
7	-	6	-	24	-	4096	- 24576
-	-	-	-	-	-	5461	- 54473

A média de estrêlas de tôdas as magnitudes observáveis, por noite, será

$$M = \frac{54.473}{5.461} \approx 9,98 \approx 10 \text{ estrêlas}$$

Então, em cada noite de trabalho se poderá obter espectros de 10 estrêlas ou seja 40 espectros por noite, supondo que o ano médio de Brazópolis apresente 150 noites de trabalho, podemos obter uma série completa de 1500 estrêlas ou seja 6000 espectros/ano.

O projeto como já dissemos, envolve a obtenção de cerca de 60.000 espectros, isto quer dizer que a duração do projeto será, no mínimo, de uns 12 anos.

Falamos até agora estritamente do ponto de vista observacional, sem entrar em questões quanto ao tempo necessário para redução destes dados.

Se imaginarmos que o tempo médio para se obter um registro gráfico de um espectrograma, através de um microfotômetro, é de cerca de 0,8 hora e que o dia de trabalho é de 8 horas, teremos que

$$1 \text{ dia de trabalho} = 10 \text{ espectros}$$

O ano de trabalho é de 300 dias úteis e, portanto, em um ano obteremos registros gráficos de 3000 espectros. Se trabalhássemos só com um microfotômetro haveria necessidade de 20 anos para se completar a redução desse material.

Vê-se pela massa de dados que torna-se indispensável a aquisição de um segundo microfotômetro para acelerar o trabalho de redução, dividindo o tempo necessário por um fator de 2.

Só falamos até agora na parte de classificação espectral, deixando de lado o problema das velocidades radiais como um problema secundário.

Do ponto de vista observacional, não haveria necessidade de se obter mais espectros, a não ser no caso de binárias espectroscópicas.

Com o desenvolvimento de modernos aparelhos destinados a medir velocidades radiais, este trabalho tornou-se muito mais atrativo do que a alguns anos passados (5,12).

O aparecimento do comparador de perfil de raia permitiu que se medisse as velocidades radiais com erros muito pequenos. Abt (26) mostrou as vantagens do comparador de perfil em relação ao comparador convencional (figura 18), principalmente no que diz respeito a medições de raias alargadas devido às grandes velocidades equatoriais de certas estrelas.

644

HELMUT A. ABT

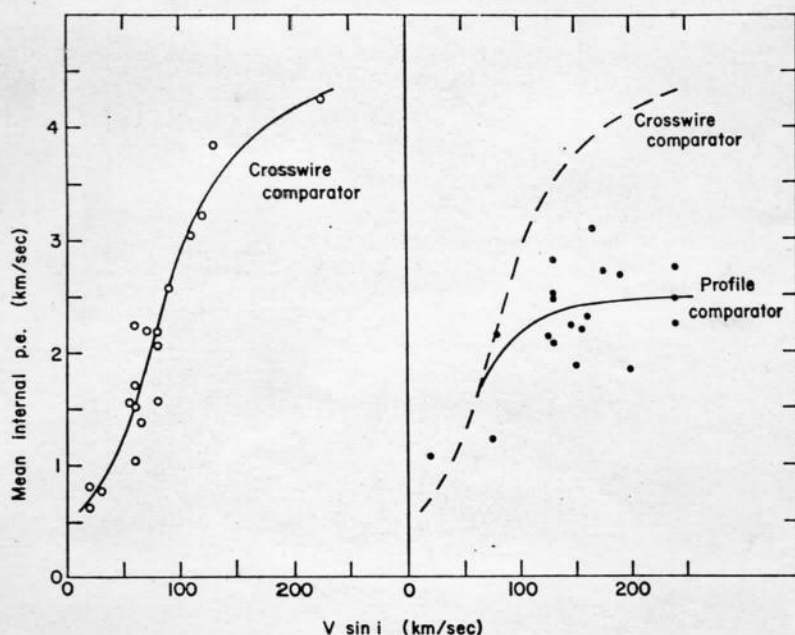


FIG. 1 — Mean internal probable errors, for about ten spectra each, of 37 A-type class V stars of various line widths ($V \sin i$), measured with two different kinds of comparators.

Figura 18 - Comparação entre os diversos erros dos tipos de comparadores

O quadro abaixo mostra os erros internos médios prováveis em Km/segundo para as várias dispersões e velocidades na linha de visada ($V \cdot \sin i$).

QUADRO VII

Dispersão (A/mm)	V. sen i (Km/seg)					
	-	0	-	150	-	250
20	-	0,7	-	2,5	-	2,5
60	-	1,5	-	4,0	-	5,0
125	-	2,5	-	5,0	-	6,0

Estes erros ainda são menores no último modelo do comparador de perfil (27).

Portanto, com espectros de 137 A/mm e 86 A/mm se poderá esperar erros em torno de 2,5 Km/seg e 2,0 Km/seg, resultado este muito superior às medidas efetuadas com o comparador de retículo.

Para que o trabalho de velocidades radiais possa ser iniciado, há necessidade da aquisição de um comparador de perfil (Grant Instruments Co.).

Se supusermos que a medida da velocidade radial de uma estrela leva cerca de 0,8 horas para ser efetuada com o comparador de perfil, chegamos à conclusão, de que necessitamos cerca de 20 anos para a redução de todos os dados.

Como se pode ver, do ponto de vista espectroscópico, este projeto é um projeto longo, de pesquisa sistemática e que será de uma utilidade incalculável para a comunidade astronômica.

5. Enfoque Fotométrico

Como já foi dito, a fotometria entra como auxiliar da Espectroscopia. O cuidado tomado no planejamento do fotômetro fotoelétrico, para minimizar os eventuais erros instrumentais, deveu-se à necessidade de realizarmos uma fotometria de precisão. Esta pretensão esta baseada em dois pontos impor-

tantes:

O hemisfério sul celeste está muito mal servido de telescópios equipados para fazerem fotometria de precisão. É um trabalho que demanda tempo e boas condições atmosféricas. O segundo ponto, que nos leva a necessidade de executar um projeto de fotometria de precisão é a altitude da estação de montanha, 1870 m.

Para fotometria de precisão é necessário que o observatório se encontre pelo menos a 1800 m, acima, portanto, das camadas de névoa seca e inversão, e que possua boas condições de turbulência, o que parece ocorrer com Brazópolis.

Quando a fotometria fotoelétrica é feita com dois índices de cor, podemos obter ou classificação espectral a dois parâmetros (classe MK) ou classificação a um parâmetro (temperatura) e o valor da absorção interestelar (16).

Infelizmente, não existe um sistema fotométrico que nos permita obter classificação MK ou mesmo o valor da absorção interestelar para todas as classes espectrais. Uns são mais eficazes para as estrelas azuladas (tipos O e B), outros para as estrelas vermelhas (tipos K e M) (14,15). Portanto, há necessidade de escolhermos vários sistemas para podermos obter classificação ME ou, em última análise, HD das estrelas.

Existem três tipos de Fotometria: Fotometria de Banda Larga, Fotometria de Banda Intermediária, Fotometria de Banda Estreita.

A fotometria de banda larga é feita com filtros de faixa de passagem grande (600 a 1000 Å) e as magnitudes medidas através dos filtros é dependente do valor da absorção interestelar. Essa desvantagem é compensada por se poder obter magnitudes de estrelas débeis.

A fotometria de banda intermediária usa filtros com faixa de passagem menor (200 a 600 Å) e as magnitudes são praticamente independentes da absorção interestelar.

A fotometria de banda estreita usa filtros interferométricos, sendo as magnitudes obtidas livres de absorção. Apresenta a desvantagem de só ser utilizada para as estrêlas brilhantes em virtude da perda de luz introduzida pelos filtros.

Pelo quadro VIII, podemos ver os fluxos estelares recebidos pelo telescópio Cassegrain de 50 cm. Os dados do quadro VIII foram calculados baseados na fórmula (24)

$$\log F = \log T + 2 \log D - 0,4 m - 5,785$$

onde

F = Fluxo estelar no foco do instrumento, em lumens

T = Fator de transmissão da ótica do instrumento

D = Diâmetro do telescópio

m = Magnitude em V

Para o nosso telescópio

D = 50 cm

T = 0,80

QUADRO VIII

m	F	F1	F2	F3
-1,6	$1,4 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-7}$	$0,7 \times 10^{-7}$	$0,4 \times 10^{-7}$
-1,0	$3,2 \times 10^{-8}$	$7,4 \times 10^{-8}$	$4,1 \times 10^{-8}$	$2,4 \times 10^{-8}$
0	$3,3 \times 10^{-8}$	$2,9 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-8}$
1	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	$0,6 \times 10^{-8}$	$0,4 \times 10^{-8}$
2	$5,2 \times 10^{-9}$	$4,6 \times 10^{-9}$	$2,6 \times 10^{-9}$	$1,5 \times 10^{-9}$
3	$2,1 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-9}$	$0,6 \times 10^{-9}$
4	$8,2 \times 10^{-10}$	$7,4 \times 10^{-10}$	$4,1 \times 10^{-10}$	$2,4 \times 10^{-10}$
5	$3,3 \times 10^{-10}$	$2,9 \times 10^{-10}$	$1,6 \times 10^{-10}$	$1,0 \times 10^{-10}$
6	$1,3 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$0,6 \times 10^{-10}$	$0,4 \times 10^{-10}$
7	$5,2 \times 10^{-11}$	$4,6 \times 10^{-11}$	$2,6 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$
8	$2,1 \times 10^{-11}$	$1,9 \times 10^{-11}$	$1,0 \times 10^{-11}$	$0,6 \times 10^{-11}$
9	$8,2 \times 10^{-12}$	$7,4 \times 10^{-12}$	$4,1 \times 10^{-12}$	$2,4 \times 10^{-12}$
10	$3,3 \times 10^{-12}$	$2,9 \times 10^{-12}$	$1,6 \times 10^{-12}$	$1,0 \times 10^{-12}$

m	F	F1	F2	F3
11	$1,3 \times 10^{-12}$	$1,1 \times 10^{-12}$	$0,6 \times 10^{-12}$	$0,4 \times 10^{-12}$
12	$5,2 \times 10^{-13}$	$4,6 \times 10^{-13}$	$2,6 \times 10^{-13}$	$1,5 \times 10^{-13}$
13	$2,1 \times 10^{-13}$	$1,9 \times 10^{-13}$	$1,0 \times 10^{-13}$	$0,6 \times 10^{-13}$
14	$8,2 \times 10^{-14}$	$7,4 \times 10^{-14}$	$4,1 \times 10^{-14}$	$2,4 \times 10^{-14}$

Observação: Os fluxos F1, F2, F3, foram obtidos na suposição de que

F1 = 0,90 x F = Fluxo em Fotometria de Banda Larga

F2 = 0,50 x F = Fluxo em Fotometria de Banda Intermediária

F3 = 0,30 x F = Fluxo em Fotometria de Banda Estreita

Então, as magnitudes limites seriam

F ---- m = 13

F1 ---- m = 12

F2 ---- m = 12

F3 ---- m = 11

Foram escolhidos os sistemas UBVRI, uvby e H(Beta) respectivamente, de banda larga, intermediária e estreita.

Os tres sistemas conjugados apresentam a possibilidade de se obter a classe MK e absorção interestelar para quase tôdas as classes espectrais.

Como a fotometria fotoelétrica entrará como um elemento que dirimirá as dúvidas, quando o espectro da estrêla não fôr o suficiente para podermos classificá-la, êstes sistemas satisfarão plenamente.

O projeto consistirá em 10 séries de medidas de magnitudes para cada estrêla. Em cada série serão obtidas as magnitudes fotoelétricas através dos filtros, U, B, V, R, I, u, v, b, y, H(Beta), h(Beta) duas vezes, do fundo do céu e da estrêla. O tempo de integração para cada magnitude medida seria de 100 segundos, para dar maior precisão a medida, minimizando os erros introduzidos pela cintilação atmosférica.

A fotometria fornecerá, então, as magnitudes através dos filtros U, B, V, R, I, u, v, b, y, H(Beta) e h(beta), auxiliará na classificação estelar e, para algumas estrelas, poderemos obter o valor da absorção interestelar naquela direção.

VI - BIBLIOGRAFIA

1. STOCK, J. and KELLER, G., 1961, Astronomical Seeing - Telescopes, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
2. MEINEL, A.B., 1961, Astronomical Seeing and Observatory Site Selection - Telescopes, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
3. BAUM, W.A., 1962, The Detection and Measurement of Faint Astronomical Sources - Astronomical Techniques, The Chicago Press, Chicago, U.S.A.
4. BOWEN, I.S., 1962, Spectrographs - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
5. PETRIE, R.M., 1962, Radial Velocity Determination - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
6. WRIGHT, K.O., 1962, Spectrophotometry - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
7. LALLEMAND, A., 1962, Photomultipliers - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
8. JOHNSON, H.L., 1962, Photoelectric Photometers and Amplifiers - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
9. HARDIE, R.H., 1962, Photoelectric Reductions - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
10. HILTNER, W.A., 1962, Polarization Measurements - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
11. CODE, A.D. and LILLER, W.C., 1962, Direct Recording of Stellar Spectra - Astronomical Techniques, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
12. PETRIE, R.M., 1963, Radial Velocities - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
13. KEENAN, P.C., 1963, Classification of Stellar Spectra - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
14. STROMGREN, B., 1963, Quantitative Classification Methods - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago,

15. JOHNSON, H.L., 1963, Photometric Systems - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
16. BECKER, W., 1963, Applications of Multicolor Photometry - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
17. BLAAUW, A., 1963, The Calibration of Luminescence Criteria - Basic Astronomical Data, The University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.
18. DESSI, J.L., 1970, Apostila sobre técnica instrumental, Observatorio de Córdoba, Argentina.
19. SAWYER, Ralph A., 1963, Experimental Spectroscopy, Dover Publications Inc., New York, U.S.A.
20. QUAST, G.R., 1970, Problemas Instrumentais e Observacionais em Fotometria Fotoelétrica, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil.
21. BOUMANS, P.W.J.M., 1966, Theory of Spectrochemical Excitation, Plenum Press, U.S.A.
22. WOOD, F.B., 1963, Photoelectric Astronomy for Amateurs, The Macmillan Co, New York, U.S.A.
23. SIDGWICK, J.B., 1955, Amateur Astronomer's Handbook, Faber and Faber Co, London, England.
24. DUFAY, Jean, 1964, Introduction to Astrophysics: The Stars, Dover Publications, New York, U.S.A.
25. SWIHART, T.L., 1968, Astrophysics and Stellar Astronomy, John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
26. ABT, H.A., 1968, Research Possibilities with Moderate Dispersion, Publications of Astronomical Society of Pacific vol. 80 n° 477
27. ABT, H.A. and SMITH, G.H., 1969, Accuracies of Radial Velocity Measurements, P.A.S.P. vol 81 n° 481
28. VRIES, M. de, 1969, Photometric Equipment of the ESO 1m Telescope, ESO Bulletin n° 1.
29. BEHR, A., 1969, The Polarimeter of the 1m Telescope, ESO Bulletin

INDICE

I - Introdução	1
II - Instrumental	
1. Telescópio refletor de 60 cm	4
2. Telescópio refletor de 50 cm	4
3. Astrógrafo	5
4. Microfotômetro	6
5. Espectrógrafo	8
6. Fotômetro Fotoelétrico	10
7. Projetor de Espectros	17
III - Organização	18
IV - Serviços Preliminares	21
V - Projeto de Pesquisa	23
1. Introdução	23
2. "Bright Stars Catalogue"	25
3. Classificação a dois parâmetros	26
4. Projeto: "Classificação Espectrofotométrica das estrelas do Bright Stars Catalogue	31
5. Enfoque Espectroscópico	32
6. Enfoque Fotométrico	42
VI - Bibliografia	47