

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

Germano Schamann Bortolotto

**COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA COM UMA
CÂMERA DE TODO-CÉU**

Florianópolis

2014

Germano Schamann Bortolotto

**COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA COM UMA
CÂMERA DE TODO-CÉU**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Física para a obtenção do Grau de Mestrado em Física.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Nemer Kanaan Neto

Florianópolis

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bortolotto, Germano Schamann
Coeficiente de extinção atmosférica com uma câmera de
todo-céu / Germano Schamann Bortolotto ; orientador,
Antônio Kanaan - Florianópolis, SC, 2014.
87 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas.
Programa de Pós-Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Coeficiente de extinção atmosférica. 3.
Câmera de todo céu. I. Kanaan, Antônio. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Física. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família, especialmente meus pais Naidi Sauer Schamann e Alselmo Bortolotto, por todo o apoio, confiança e por estarem sempre presentes, mesmo à distância.

À minha irmã, Nadine Lory Bortolotto, pelos valiosos conselhos e pelo incansável suporte nos momentos de necessidade.

A Moisés Spilere, por ser meu companheiro em todos esses anos. Pela compreensão, encorajamento, apoio e tantos momentos de felicidade sem os quais esse trabalho seria uma tarefa muito mais árdua.

A meu orientador Antônio Nemer Kanaan pelas conversas, conselhos e respostas a todas as minhas perguntas. Pelo exemplo de profissional e por ter marcado o início de minha carreira científica.

Aos colegas e amigos do Grupo de Astrofísica, em especial Rafael Bernardi, Alexandre Tuoto Mello, Ariel Werle, Eduardo Alberto Duarte Lacerda, André Amorim e William Schoenell pelo companheirismo e por me ajudarem com suas experiências em diversos momentos cruciais.

A David Walker por ter provido as imagens e valiosas informações sobre o equipamento utilizado.

A Antônio Machado pela eficiência em lidar com todos os assuntos relacionados à Pos-Graduação.

Agradeço também à Universidade Federal de Santa Catarina pela infraestrutura e oportunidades disponibilizadas ao longo da graduação e do mestrado.

Agradeço o suporte do Governo Federal sob forma de bolsas de estudos CAPES/REUNI.

RESUMO

Câmeras de todo céu são uma ótima alternativa para o estudo das condições atmosféricas em um sítio astronômico. Neste trabalho serão descritos três métodos para calcular o coeficiente de extinção atmosférica com o uso da SASCA (*SOAR AllSky Camera*), uma câmera de todo céu localizada no Cerro Pachón. Desenvolvemos um programa em Python que calcula azimute e altitude para as estrelas e os converte para coordenadas de pixel sobre o CCD. Comparando as posições calculadas para um grupo de estrelas com suas posições reais nas imagens nós podemos determinar a distorção causada pela câmera. Depois de mapear as distorções nós sabemos exatamente em qual pixel a estrela cai em qualquer data e hora. Criamos tabelas das posições das estrelas e fizemos a fotometria em todas elas por meio da rotina PHOT do IRAF. Essas tabelas foram convertidas em tabelas de magnitude aparente versus massa de ar para cada estrela em um certo instante. Para calcular o coeficiente de extinção atmosférica desenvolvemos um sistema fotométrico baseado nos filtros utilizados pela SASCA. Com esses dados calculamos o coeficiente de extinção atmosférica de primeira e segunda ordem por meio da lei de Bouguer tradicional. Também calculamos o coeficiente de primeira ordem com a lei de Bouguer modificada de forma a não necessitar da magnitude de fora da atmosfera de cada estrela. Descreveremos um novo método que calcula o coeficiente de forma instantânea ao utilizar as variações de magnitude de diversas estrelas em posições diferentes do céu em um mesmo instante. Faremos comparações entre nossos métodos e os valores atuais para o coeficiente de extinção atmosférica na região do Cerro Pachón.

Palavras-chave: Câmera de todo céu, coeficiente de extinção atmosférica, fotometria, massa de ar

ABSTRACT

All sky cameras are a great alternative to the study of atmospheric conditions in an astronomical site. In this work we describe three methods for the calculation of the atmospheric extinction coefficient with the use of SASCA (SOAR AllSky Camera), an allsky camera located at Cerro Pachon. We developed a Python program that calculates azimuth and altitude for the stars and then converts them to pixel coordinates on the CCD. Comparing the positions calculated for a group of stars with their actual positions on the images, we can determine the distortion caused by the camera. After mapping the distortions we know exactly in which pixel a star falls on any date and time. We then created tables of star positions and did the photometry of them all on each image using the IRAF routine PHOT. These photometry tables are subsequently converted into multiple tables with apparent magnitude versus air mass for each star at a given instant. To calculate the atmospheric extinction coefficient we developed a photometric system based on the SASCA filters. With these data we calculate the atmospheric extinction coefficient of first and second order with the traditional Bouguer's law. We also calculated the first order coefficient with a modified Bouguer's law so as to not require the magnitude from outside the atmosphere for each star. We describe a new method to calculate the coefficient in an instantaneous way by using magnitude variations of several stars at different sky positions in the same instant. We will compare our methods and the current values for the atmospheric extinction coefficient in the region of Cerro Pachón.

Keywords: Allsky Camera, atmospheric extinction coefficient, photometry, airmass

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Um raio de luz atravessa a camada atmosférica	19
Figura 2	Curva de sensibilidade do CCD	24
Figura 3	Curva de transmissão do filtro BG-38 46-433 utilizado na SASCA em Cerro Pachón.	25
Figura 4	Curva de transmissão do filtro RG-695 32-756 utilizado na SASCA em Cerro Pachón.	25
Figura 5	Curva de transmissão dos filtros do sistema fotométrico Johnson.	26
Figura 6	Comparação entre coordenadas não distorcidas (verde) e as posições após aplicação da transformação de coordenadas (vermelho). . .	29
Figura 7	Estrelas identificadas com o uso da rotina GEOXYTRAN.	31
Figura 8	ΔM em função de ΔX para a estrela HR 5193 no filtro \mathcal{B}	34
Figura 9	ΔM em função de ΔX para a estrela HR 2326 no filtro \mathcal{R}	34
Figura 10	ΔM em função de ΔX para a noite de 6 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B}	36
Figura 11	ΔM em função de ΔX para a noite de 6 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{R}	36
Figura 12	ΔM em função de ΔX para a noite de 7 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B}	37
Figura 13	ΔM em função de ΔX para a noite de 7 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{R}	37
Figura 14	Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 6553 no filtro \mathcal{R} para a noite de 6 de agosto de 2005.	41
Figura 15	Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 5776 no filtro \mathcal{B} para a noite de 6 de agosto de 2005.	41
Figura 16	Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 2326 no filtro \mathcal{R} para a noite de 7 de agosto de 2005.	42
Figura 17	Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 6879 no filtro \mathcal{B} para a noite de 7 de agosto de 2005.	42
Figura 18	Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude menor que 3 referente ao horário UT 03h17min.	43
Figura 19	Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude V menor que 3 referente ao horário UT 02h09min.	44
Figura 20	Variação da magnitude em função da massa de ar com as es-	

treelas de magnitude V que 3 referente ao horário UT 06h28min.	45
Figura 21 Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude V menor que 3 referente ao horário UT 08h39min. .	45
Figura 22 Variação temporal dos coeficientes instantâneos de extinção atmosférica no filtro \mathcal{B} para a noite do dia 6 de agosto de 2005 em Cerro Pachón.	46
Figura 23 Variação temporal dos coeficientes instantâneos de extinção atmosférica no filtro \mathcal{B} para a noite do dia 7 de agosto de 2005 em Cerro Pachón	47
Figura 24 Imagem no filtro \mathcal{B} em um instante em que o céu está iluminado pela luz do Sol.	48
Figura 25 Estrelas identificadas para o período em que a Via Láctea não é visível no céu.	49
Figura 26 Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados pelo método de Moitinho.	51
Figura 27 Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados pelo método de Bouguer tradicional.	52
Figura 28 Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados de forma instantânea	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Extinção (mag/massa de ar) no OPD/LNA.....	21
Tabela 2	Comparação entre coordenadas da imagem e as coordenadas das estrelas projetadas sobre o CCD.	28
Tabela 3	Lista de estrelas com respectivos coeficientes de extinção atmosférica (em mag/massa de ar)no filtro \mathcal{B} para a noite de 6 de agosto de 2005.....	35
Tabela 4	Comparativo entre coeficientes de extinção atmosférica (em mag/massa de ar) para localidades próximas.	38
Tabela 5	Parâmetros dos dados utilizados pela rotina DATAPARS.....	59
Tabela 6	Parâmetros de fotometria utilizados pela rotina PHOTPARS..	59
Tabela 7	Parâmetros de centralização utilizados pela rotina CENTER-PARS.....	60
Tabela 8	Parâmetros do céu utilizados pela rotina FITSKYPARS.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

$L(\lambda)$	Radiância espectral	19
λ	Comprimento de onda	19
h	Altitude	19
ρ	Massa específica do ar	19
$k(\lambda)$	Coeficiente de extinção total	19
$k'(\lambda)$	Coeficiente de extinção de primeira ordem	19
$k''(\lambda)$	Coeficiente de extinção de segunda ordem	19
z	Distância zenital	20
X	Massa de ar	20
X_{ref}	Coordenada X da imagem no arquivo de entrada do GEOXY	27
Y_{ref}	Coordenada Y da imagem no arquivo de entrada do GEOXY	27
X_{ent}	Coordenada X das estrelas projetadas sobre o CCD no arquivo de entrada do GEOXY	27
Y_{ent}	Coordenada Y das estrelas projetadas sobre o CCD no arquivo de entrada do GEOXY	27
Δm	Diferença dentre as magnitudes da estrela entre diferentes massa de ar	33
ΔX	Diferença entre as massas de ar	33
σ	Desvio padrão da média	33
C	Índice de cor	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CAUSAS DA EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA	18
1.2	DESCRIÇÃO MATEMÁTICA	19
1.3	O COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA ATU- ALMENTE	21
2	OS MÉTODOS	23
2.1	EQUIPAMENTO	23
2.2	POSIÇÕES DAS ESTRELAS	24
2.3	TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS	27
2.4	IDENTIFICAÇÃO DE ESTRELAS	30
3	RESULTADOS	33
3.1	COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA COM ES- TRELAS AO LONGO DA NOITE	33
3.1.1	Coeficientes de extinção atmosférica de segunda ordem . . .	39
3.1.2	O sistema fotométrico	39
3.2	COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA INSTANTÂNEO	40
3.2.1	Descrição	40
3.2.2	Noites fotométricas	44
3.3	RESUMO DOS RESULTADOS	48
4	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – Parâmetros do IRAF	59
	APÊNDICE B – Códigos documentados	63
	APÊNDICE C – Tutorial para uso dos programas AllSky ..	79

1 INTRODUÇÃO

Do raio-x ao infravermelho, passando por todo o espectro de luz visível, a radiação eletromagnética é o principal material de trabalho de um astrônomo. Assim, uma de suas preocupações mais fundamentais é aproveitar ao máximo a luz emitida pelas estrelas, nebulosas e galáxias. Essa não é uma tarefa trivial, pois a luz atravessa enormes distâncias até atingir o planeta Terra. Ao percorrer esse caminho a luz é absorvida e espalhada por gás e poeira e o astrônomo detecta apenas uma fração da luz emitida. O efeito da perda de luz é conhecido como **extinção** e acontece tanto em meios interestelares quanto na atmosfera terrestre. Contudo, é possível calcular a quantidade de luz perdida e obter o brilho real da fonte emissora.

Neste projeto estamos interessados em estudar a extinção atmosférica e em aprimorar os métodos de calculá-la por meio do uso de uma câmera de todo céu. A importância do estudo reside no fato de que o astrônomo gasta tempo de observação na obtenção do *seeing* e coeficiente de extinção atmosférica (ver seção 1.1). Este coeficiente é importante para retirar a influência da atmosfera terrestre durante a redução de dados fotométricos. Em função disso, vários observatórios, notadamente aqueles usados para a realização de *surveys*, possuem telescópios menores dedicados a obter informações importantes sobre as condições atmosféricas da noite de observação. Um survey é o imageamento de uma determinada região do céu sem um alvo específico. Um survey também pode obter espectros dos objetos em seu campo de atuação. Em função de as observações não terem como alvo um objeto específico, o survey permite que os astrônomos cataloguem e façam análises estatísticas dos objetos. Como exemplo de survey temos o SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) que realizou estudos de *seeing* e cálculo do coeficiente de extinção atmosférica para o APO (*Apache Point Observatory*) no Novo México, Estados Unidos (HOGG et al., 2001). O JPAS (*Javalambre Physics of accelerating universe Astrophysical Survey*), um novo survey que iniciará em 2014, também possui estudos para o local onde está seu telescópio, no Pico del Buitre, na Serra de Javalambre, Espanha (MOLES et al., 2010; Benitez, N. et al., 2014). No Brasil também há estudos de *seeing* e extinção atmosférica para o OPD (Observatório Pico dos Dias) em Minas Gerais (DIAS et al., 2010).

Câmeras de todo céu são uma ótima alternativa ao uso de telescópios menores dedicados ao estudo das condições atmosféricas. Uma câmera de todo céu sem partes móveis é barata e tem baixo custo de manutenção e operação. Além disso, permite observar vários objetos em um amplo campo de visão no mesmo instante, o que não é possível com o uso de telescópios.

Vamos explorar essa propriedade neste trabalho e mostraremos diferentes métodos para o estudo do coeficiente de extinção atmosférica.

Entretanto, é importante lembrar que as análises de extinção não são atividades recentes.

Os primeiros estudos sobre extinção atmosférica foram realizados no século XVII por Pierre Bouguer com a publicação do livro *Essai d'Optique, sur la gradation de la lumière*. Neste livro o geofísico francês analisou a quantidade de luz que é perdida ao atravessar uma dada extensão da atmosfera. Também é interessante mencionar que Bouguer realizou alguns dos primeiros estudos sobre fotometria ao quantificar a diferença entre a luz proveniente do Sol e da Lua em comparação com uma vela.

Primeiramente detalharemos as causas de extinção e depois apresentaremos a forma matemática de modelá-la.

1.1 CAUSAS DA EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA

A extinção atmosférica tem origem em diversos processos. Os principais são:

Espalhamento Rayleigh: nesse processo, um fóton encontra uma molécula de ar e é redirecionado. O efeito é mais evidente para fóton de menor comprimento de onda. É esse espalhamento que explica porque o céu é azul. O espalhamento molecular é um componente de extinção estável no tempo e depende basicamente da distância atravessada pela luz (altitudes maiores apresentam céus mais transparentes)

Absorção por ozônio: a absorção pela molécula O_3 é maior no ultravioleta a partir de 320 nm. O ozônio está concentrado próximo à estratopausa a cerca de 48km do nível do mar. Varia sazonalmente ao redor do globo.

Espalhamento por aerossóis: os aerossóis são pequenas partículas suspensas no ar, representados principalmente pelo sal (proveniente dos oceanos), poeira (introduzidas por ventos em desertos), fumaça e cinzas vulcânicas. O espalhamento depende do tamanho das partículas e é bastante variável, mesmo em questão de dias. Enquanto que sal e poeira ficam nas camadas mais baixas da atmosfera, os aerossóis causados por erupções vulcânicas e por queimadas atingem a estratosfera e lá permanecem por semanas ou mesmo anos em função da ausência de chuvas.

Absorção por bandas moleculares: constituída basicamente por vapor d'água e dióxido de carbono. O dióxido de carbono é melhor distribuído na atmosfera, enquanto que o vapor d'água está concentrado próximo à superfície e varia de acordo com a temperatura, hora e local.

O coeficiente de extinção leva em conta a contribuição desses quatro

principais fatores, e pode ser obtido de forma simples com o uso da lei de Bouguer, descrita a seguir. A dedução é baseada no livro *Astronomical Photometry: A Guide*, de C. Sterken e J. Manfroid. (STERKEN; MANFROID, 1992)

1.2 DESCRIÇÃO MATEMÁTICA

Podemos descrever a variação da radiância espectral ($L(\lambda)$) para um raio de luz vertical entre altitudes h e $h + dh$ como:

$$dL(\lambda, h) = k(\lambda, h)\rho(h)L(\lambda, h)dh \quad (1.1)$$

onde $k(\lambda)$ é o coeficiente de extinção por unidade de massa e $\rho(h)$ é a massa específica do ar.

Podemos integrar a equação 1.1 como:

$$L(\lambda, h_0) = L(\lambda, h_1)e^{-\int_{h_0}^{h_1} k(\lambda, h)\rho(h)dh} \quad (1.2)$$

Na equação 1.2, h_1 é o limite exterior da atmosfera e h_0 é a altitude do observatório. No entanto, temos que considerar que as estrelas não são observadas apenas no zênite (figura 1).

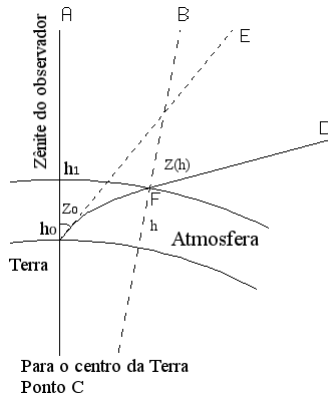


Figura 1 – O caminho que o raio de luz atravessa cresce com o aumento da distância zenital (caminho FO). O raio aparece curvado em função da refração atmosférica. A estrela aparenta estar na direção E. O ponto O indica a posição do observador.

Para um objeto com distância zenital (z) pequena a espessura de ar percorrida será dada por $sec(z)dh$, de forma que as equações 1.1 e 1.2 podem

ser reescritas como:

$$\begin{aligned} dL(\lambda, h) &= k(\lambda, h)\rho(h)L(\lambda, h)\sec(z)dh, \\ L(\lambda, h_0) &= L(\lambda, h_1)e^{-\int_{h_0}^{h_1} k(\lambda, h)\rho(h)\sec(z)dh} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Contudo, na realidade o ângulo $z = z(h)$ varia com a altitude em função da refração da luz causada pela atmosfera. Numa primeira aproximação assumiremos que $k(\lambda, h)$ é constante através da atmosfera. Assim, a segunda das equações 1.3 se torna:

$$L(\lambda, h_0) = L(\lambda, h_1)e^{-k(\lambda)\int_{h_0}^{h_1} \rho(h)\sec(z)dh} \quad (1.4)$$

A integral representa a massa de ar contida em uma coluna paralela ao raio de luz e seção de corte de valor unitário. Entretanto, fotometristas preferem usar a massa de ar relativa (equação 1.5) que é adimensional.

$$X = \frac{\int_{h_0}^{h_1} \rho(h)\sec(z)dh}{\int_{h_0}^{h_1} \rho(h)dh} \quad (1.5)$$

A massa de ar X é definida como a distância que a luz de um objeto celeste deve atravessar a atmosfera terrestre para chegar ao observador em relação à fonte no zênite ($X = 1$ em $z = 0$). Com esta definição, a equação 1.4 se torna:

$$\begin{aligned} L(\lambda, h_0) &= L(\lambda, h_1)e^{-k(\lambda)X(z)\int_{h_0}^{h_1} \rho(h)dh}, \\ &= L(\lambda, h_1)e^{k(\lambda)X(z)\alpha} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Onde α é a coluna de ar paralela ao raio de luz e de seção de corte unitária.

Essa definição se torna mais clara em forma logarítmica (equação 1.7):

$$\log(L(\lambda, h_0)) = \log(L(\lambda, h_1)) - \log(e)k(\lambda)X(z)\alpha \quad (1.7)$$

Podemos ainda transformá-la e trabalhar com magnitudes como mostrado na equação 1.8:

$$\begin{aligned} m(\lambda, h_0) &= m(\lambda, h_1) + 2.5\log(e)k(\lambda, h)X(z)\alpha, \\ &= m(\lambda, h_1) + k(\lambda)X(z) \end{aligned} \quad (1.8)$$

Esta é a equação da lei Bouguer, onde $m(\lambda, h_0)$ é a magnitude observada, $m(\lambda, h_1)$ é a magnitude sem o efeito da atmosfera, $k(\lambda)$ é o coeficiente de extinção atmosférica, e $X(z)$ é a massa de ar. Sendo assim, a unidade do

coeficiente de extinção atmosférica é *magnitude por massa de ar*. Sempre que aparecer algum valor de $k(\lambda)$ neste documento, sua unidade deverá ser subentendida como *magnitude por massa de ar*.

Essa fórmula foi reobtida posteriormente por Johann Heinrich Lambert e aprimorada por August Beer em 1852.

1.3 O COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA ATUALMENTE

O método de Bouguer-Lambert-Beer é ainda o mais utilizado para cálculo de extinção atmosférica em vários observatórios ao redor do mundo.

No Observatório Pico dos Dias (OPD) em Brasópolis, Minas Gerais, existe grande variação no valor da extinção atmosférica de uma noite a outra. É comum o astrônomo fazer o acompanhamento de pares de estrelas em diversos momentos ao longo da noite. O usual é escolher estrelas de cores diferentes para avaliar o efeito do índice de cor na variação da magnitude. Essa informação nos dá o coeficiente de extinção de segunda ordem, que será explicada no capítulo 3.1.1.

Em observatórios como o SOAR (Southern Astrophysical Research Telescope), e CTIO (Cerro Tololo International Observatory) são utilizadas tabelas de extinção. Os valores encontrados nesses sítios de maior altitude e melhores condições atmosféricas são muito menores do que os encontrados no OPD (mostrados na tabela 1) (DIAS et al., 2010).

Tabela 1 – Extinção (mag/massa de ar) no OPD/LNA.

<i>Filtro</i>	$\lambda(\text{Å})$	k_{total}
<i>U</i>	3655	0,5124
<i>B</i>	4405	0,2588
<i>V</i>	5520	0,1527
<i>R</i>	6474	0,0996
<i>I</i>	8234	0,0459

Mesmo que os grandes observatórios disponibilizem tabelas como essa é recomendável ao astrônomo medir os coeficientes de extinção para cada noite de observação. É importante que o método de medida seja confiável e que possa ser aplicado em vários momentos da noite, caso necessário. Neste trabalho buscamos contribuir com o estudo de métodos para a obtenção desses coeficientes no estudo de extinção atmosférica por meio do uso de uma câmera de todo céu.

O capítulo 2 descreve os equipamentos utilizados e a preparação dos dados para uso em nosso estudo. Esses métodos incluem como trabalhamos

com a distorção causada pela lente da câmera de todo céu e como realizamos fotometria e obtivemos os valores de massa de ar para cada estrela estudada.

No capítulo 3 descrevemos os três diferentes métodos, entre eles um método proposto, para cálculo do coeficiente de extinção atmosférica por meio do uso de uma câmera de todo céu. Apresentamos os resultados e os comparamos os valores obtidos com os valores atuais para o coeficiente de extinção atmosférica na região do Cerro Pachón.

Por fim, o capítulo 4 apresenta as conclusões de nosso estudo.

2 OS MÉTODOS

2.1 EQUIPAMENTO

Nesse projeto utilizamos fotos da SASCA (SOAR All Sky Camera), pertencente ao SOAR (Southern Astrophysical Research Telescope) e localizada no Cerro Pachón (latitude $-30^{\circ}10'20''$, longitude $-70^{\circ}48'00''$), a 2715m de altitude, na Cordilheira dos Andes, Chile.

O equipamento utiliza uma câmera SBIG STL-1001E. O CCD é um KAF 1001E, com 1024×1024 pixels de $24\mu\text{m}$ cada. Para ser possível obter uma foto de todo céu a câmera está acoplada a uma lente Nikon f/2,8, 180° olho-de-peixe com distância focal de 8mm, o que implica em uma escala de placa de 0.18° do céu por pixel (WALKER; SCHWARZ; BUSTOS, 2006).

A SASCA possui cinco filtros. No espectro visível são utilizados filtros BG-38 46-433 (que vai de 380 a 850 nm e de 1000 a 2800 nm, como mostrado na figura 3) e RG-695 32-756 (de 695 a 4500 nm, figura 4). Também é utilizado um filtro de banda estreita Na, que é centrado no comprimento de onda de emissão das linhas de sódio na atmosfera (589 nm). A câmera de todo céu também comporta dois filtros no infravermelho próximo, Y e Z. Estes filtros foram feitos sob medida pela *Chroma Technology* e são centrados em 1000 e 870 nm respectivamente, ambos com 100 nm de largura de banda.

A SASCA obtém uma imagem a cada 30s em todos os filtros, exceto Na. Durante a noite são tiradas 3 imagens no filtro Na para monitoramento da poluição luminosa causada por lâmpadas de sódio. Todas as imagens são armazenadas em um servidor desde abril de 2005. Apesar de públicas, não estão disponíveis diretamente ao usuário, sendo necessário contatar um dos responsáveis pela câmera para obtê-las. David Walker (do Observatório Internacional de Cerro Tololo), responsável pelo funcionamento tanto da SASCA quanto da TASCA (Tololo All Sky Camera), forneceu as imagens não reduzidas.

As imagens utilizadas datam de 25-28 de julho e 06-10 de agosto de 2005. Essas noites apresentavam grandes diferenças em condições atmosféricas em um espaço de poucos dias. Recebemos imagens em todos os filtros indicados acima, mas apenas os filtros BG-38 46-433 e RG-695 32-756 foram utilizados para o estudo de extinção atmosférica.

Entretanto, os filtros utilizados na SASCA não seguem um sistema fotométrico padrão, tal como o sistema Johnson (figura 5) ou Strömgen. O filtro BG-38 46-433 possui uma curva de transmissão bastante larga. O mesmo acontece com o filtro RG-695 32-756. A figura 3 representa a curva de trans-

missão do filtro BG-38 46-433, fabricado pela Edmund Optics. A figura 4 representa a curva de transmissão do filtro RG-695 32-756, também fabricado pela Edmund Optics. É importante notar que ambos os filtros tem curvas de transmissão que vão além de 1000 nm (figura 2). No entanto, a sensibilidade do CCD KAF 1001E cai a zero acima de 1000nm, o que faz com que apenas uma parte da transmissividade dos filtros seja efetivamente utilizada.

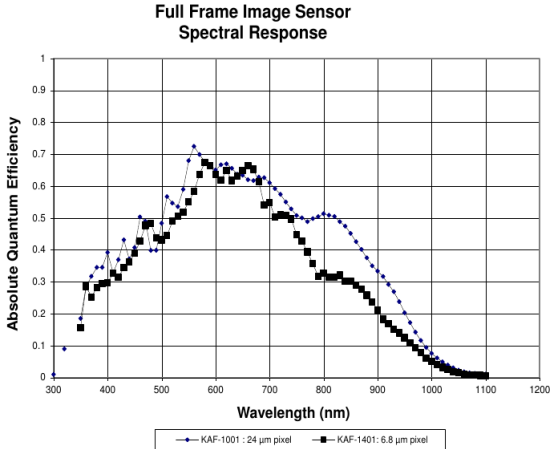


Figura 2 – Curva de sensibilidade (curva azul) do CCD KAF 1001E em função do comprimento de onda. Fonte: *TrueSense Imaging Inc.*

Para não confundirmos os filtros da SASCA com os filtros utilizados em outros sistemas fotométricos denominaremos o filtro BG-38 46-433 de \mathcal{B} e o filtro RG-695 32-756 de \mathcal{R} .

2.2 POSIÇÕES DAS ESTRELAS

O primeiro passo para utilização das imagens da SASCA em um estudo de extinção atmosférica é avaliar a distorção causada pela lente olho-de-peixe Nikon nas imagens projetadas do céu. Isso é de grande importância, pois nosso método depende da identificação correta das posições de estrelas conhecidas para medirmos seus brilhos em diversos momentos da noite.

Para resolver esse problema e poder identificar e realizar fotometria das estrelas adequadamente avaliamos as diferenças entre as coordenadas das estrelas na imagem obtida pela câmera e suas coordenadas obtidas através de catálogos no mesmo instante em que a imagem foi obtida. Com esses dados é

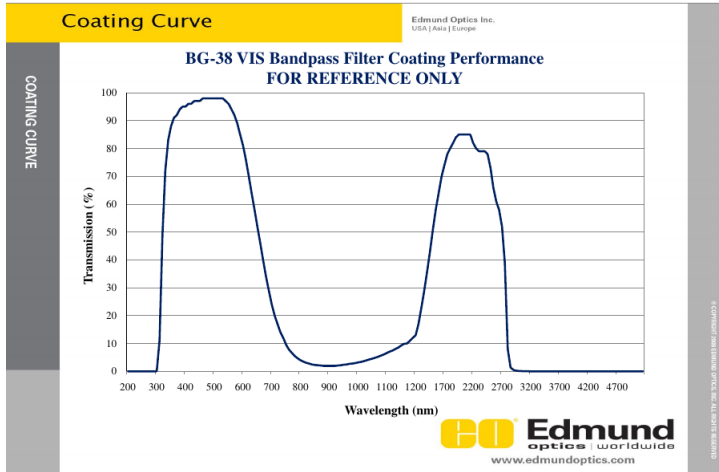


Figura 3 – Curva de transmissão do filtro BG-38 46-433 utilizado na SASCA em Cerro Pachón. Fonte: <http://www.edmundoptics.com/optics/optical-filters/bandpass-filters/colored-glass-bandpass-filters/46433>

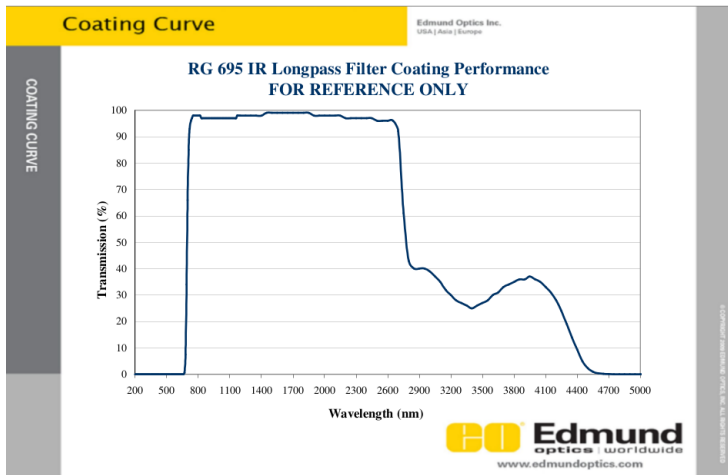


Figura 4 – Curva de transmissão do filtro RG-695 32-756 utilizado na SASCA em Cerro Pachón. Fonte: <http://www.edmundoptics.com/optics/optical-filters/longpass-edge-filters/longpass-glass-color-filters/32-756>

possível criar uma função de transformação de coordenadas que pode ser aplicada sempre que se deseje saber a posição das estrelas nas imagens a partir de

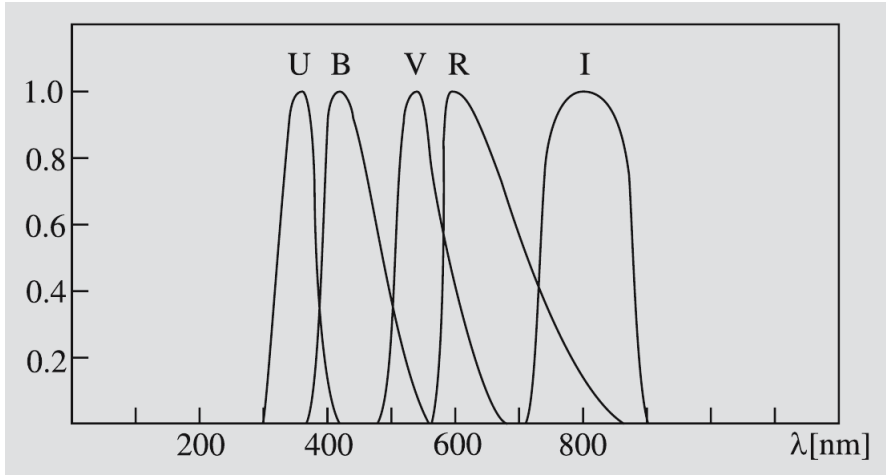


Figura 5 – Curva de transmissão dos filtros do sistema fotométrico Johnson. A transmissividade no eixo Y está normalizada. (KARTTUNEN et al., 2007)

coordenadas provenientes de catálogos. Para fazer esse estudo escolhemos a imagem obtida às UT 2h15min¹ no dia 26 de julho de 2005. A transformação de coordenadas distorcidas para não-distorcidas se manterá constante até que o equipamento seja modificado, podendo ser aplicada a imagens de diferentes datas e horários obtidas pela mesma câmera. Alterações no equipamento implicariam em realizar novas transformações de coordenadas de forma a corrigir deslocamentos do ponto central ou diferenças de apontamento causadas por posicionamento indevido da câmera, por exemplo.

A primeira etapa para corrigir a distorção da lente Nikon foi identificar as 30 estrelas mais brilhantes presentes na imagem e anotar suas respectivas coordenadas em pixels do CCD.

Posteriormente anotamos as coordenadas altazimutais dessas mesmas estrelas para o horário exato. Essas coordenadas foram obtidas através de um software de planetário gráfico, o *Stellarium*.

Entretanto, não se pode comparar coordenadas altazimutais com coordenadas cartesianas diretamente. Para projetar o céu sobre um CCD de 1024x1024 pixels ($X_{dim} \times Y_{dim}$) é necessário que façamos uma transformação de coordenadas. Para isso utilizamos as seguintes equações:

¹Importante lembrar que a Zona Horária chilena é UTC -4. Sendo assim, UT 2h15min corresponde às 22h15min do dia 25 de julho de 2005, horário local chileno.

$$\begin{aligned} x_{CCD} &= \left(\frac{\pi}{2} - \text{alt}\right) \cdot \left(\frac{X_{dim}}{\pi}\right) \cdot \cos\left(az + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{X_{dim}}{2}, \\ y_{CCD} &= \left(\frac{\pi}{2} - \text{alt}\right) \cdot \left(\frac{Y_{dim}}{\pi}\right) \cdot (-1) \cdot \sin\left(az + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{Y_{dim}}{2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Na equação 2.1 o primeiro termo entre parênteses à direita do sinal de igualdade é o cálculo da distância zenital. O segundo termo entre parênteses representa a relação existente entre o tamanho da imagem ($X_{dim} = Y_{dim} = 1024$ pixels) e sua correspondência em distância zenital. Assim, do centro da imagem até a borda são 512 pixels ou $\frac{\pi}{2}$ rad. O último termo à direita define o deslocamento do ponto inicial da imagem de (0,0) a (512,512) de forma que o centro da imagem corresponda à origem do novo sistema de coordenadas. Foi necessário multiplicar a equação em y por -1 pelo fato de que as imagens recebidas estavam invertidas em relação ao eixo norte-sul.

Com os dados anotados e a transformação realizada foi possível criar uma tabela de referência que possui coordenadas da imagem (x,y) contra coordenadas cartesianas das estrelas projetadas sobre CCD (assumindo uma lente sem distorção), como mostrado na tabela 2.

2.3 TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS

Uma vez em posse da tabela 2 calculamos a lei de transformação entre o sistema de coordenadas não-distorcido e o distorcido. Isso foi feito com as rotinas GEOXYTRAN e GEOMAP, ambas do pacote `immatch` que é parte do pacote `images` do IRAF (Image Reduction and Analysis Facility). Abaixo estão relacionadas algumas informações dessas rotinas:

GEOMAP – computa a transformação necessária para transformar um sistema de coordenadas de referência para um diferente sistema de coordenadas. As coordenadas de pontos em comum aos dois sistemas são listadas num arquivo de entrada na forma " $X_{ref}Y_{ref}X_{ent}Y_{ent}$ ", onde $X_{ref}Y_{ref}$ são as coordenadas da imagem e $X_{ent}Y_{ent}$ são as coordenadas das estrelas projetadas sobre o CCD. A transformação pode ser obtida como uma função polinomial, de Legendre ou Chebyshev, de várias ordens diferentes, dependendo da complexidade necessária.

GEOXYTRAN – aplica a transformação de coordenadas obtida pelo GEOMAP para uma lista de coordenadas de referência. O arquivo de saída é composto pelas coordenadas de entrada devidamente transformadas. O grau de precisão é dado pelo número de algarismos do sistema de referência.

Tabela 2 – Comparação entre coordenadas da imagem e as coordenadas das estrelas projetadas sobre o CCD às 2h15 da noite de 26 de julho de 2005.

Estrela	Coordenadas da imagem		Coordenadas das estrelas projetadas sobre o CCD	
	Abscissa (pixels)	Ordenada (pixels)	Abscissa (pixels)	Ordenada (pixels)
1	579,371	232,971	700,723	252,000
2	645,962	415,436	753,092	444,115
3	398,467	501,665	495,278	489,465
4	407,987	494,970	505,743	483,185
5	392,416	513,470	487,603	499,465
6	432,503	474,036	534,349	467,371
7	526,553	686,964	582,358	695,944
8	552,950	687,291	607,141	701,302
9	626,738	690,203	676,800	718,717
10	351,584	617,599	425,852	592,311
11	281,661	593,662	363,159	555,660
12	224,792	568,110	313,938	520,455
13	297,158	781,926	336,218	728,981
14	459,578	189,299	584,701	197,829
15	611,595	722,772	653,556	746,972
16	640,016	642,903	702,665	674,637
17	572,767	551,182	659,396	570,081
18	624,231	562,590	706,282	591,046
19	537,752	581,085	618,538	593,524
20	458,761	281,723	581,930	283,161
21	444,751	305,984	566,022	304,651
22	332,938	452,339	437,785	429,562
23	373,775	412,531	484,403	397,412
24	276,107	291,808	401,439	272,353
25	266,536	343,718	386,168	318,569
26	453,470	743,106	495,162	732,095
27	524,319	431,886	631,717	440,557
28	487,337	394,252	600,906	397,020
29	237,345	565,601	326,356	520,721
30	336,635	598,013	415,56	570,567

Fornecemos a tabela 2 ao GEOMAP. A rotina ajustou um polinômio 2D de terceira ordem ao conjunto de dados de forma a obter as coordenadas distorcidas a partir das coordenadas das estrelas projetadas. Esse polinômio é arbitrário e não possui necessariamente uma correspondência a um modelo físico significativo.

Posteriormente utilizamos a rotina GEOXYTRAN, que aplica o arquivo de saída do GEOMAP à lista de coordenadas reais não-distorcidas e obtém as posições distorcidas das estrelas projetadas no CCD. O processo inverso (coordenadas distorcidas para coordenadas não-distorcidas) também é possível, sendo realizado de forma análoga, embora não tenha sido usado nesse trabalho.

A figura 6 exemplifica o resultado obtido. Os círculos em verde são as coordenadas x, y (provenientes do Stellarium) das estrelas simplesmente projetadas no CCD. É possível perceber que algumas estrelas parecem estar visíveis além do horizonte na imagem obtida pela câmera. Isso acontece por-

que ainda não levamos em conta a distorção causada pela lente Nikon. Os círculos em vermelho representam essas mesmas coordenadas já distorcidas, mapeando corretamente as posições das estrelas. As estrelas que pareciam poder ser vistas abaixo do horizonte agora assumem posições corretas no céu visível. Podemos ver que as posições não são obtidas adequadamente quando as estrelas estão muito próximas do horizonte, mas não estamos interessados nessa região do céu.

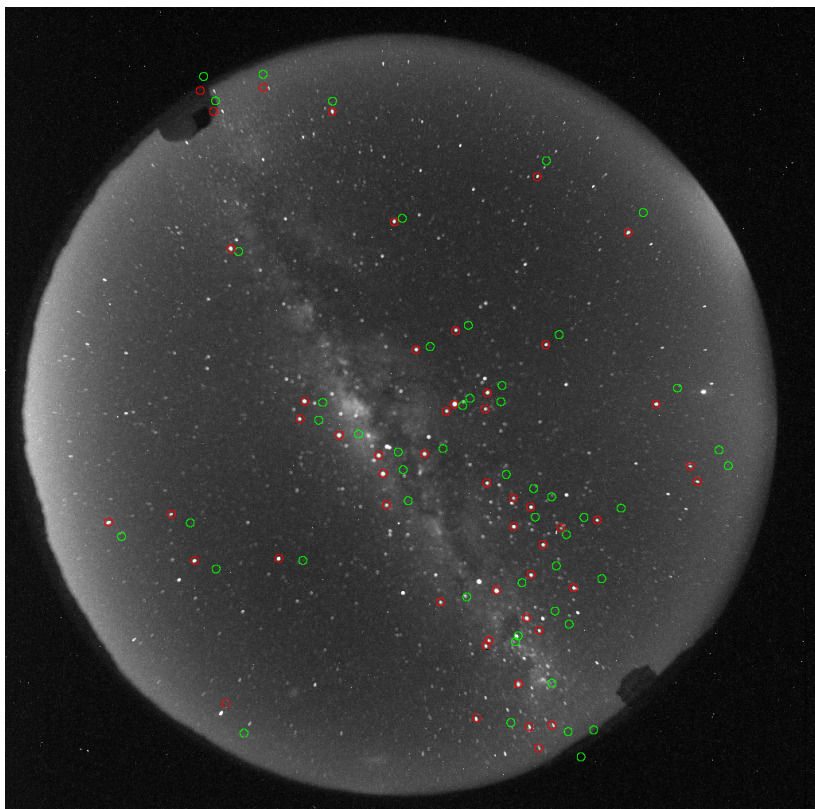


Figura 6 – Comparação entre coordenadas não distorcidas (verde) e as posições após aplicação da transformação de coordenadas (vermelho). Essa transformação distorceu as posições das estrelas de forma a levar em conta o efeito da lente da câmera de todo céu.

2.4 IDENTIFICAÇÃO DE ESTRELAS

Uma vez em posse do arquivo de transformação de coordenadas calculada pelo GEOXYTRAN passamos a utilizá-lo em todas as nossas imagens. Ao invés do Stellarium, começamos a utilizar o *Bright Star Catalog* (de agora em diante referido como BSC) como base de dados das posições altazimutais das estrelas. Esse catálogo possui o registro de 9110 objetos, dos quais 9096 são estrelas com brilho superior a 6,5 magnitudes no filtro V de Johnson. O BSC possui informações sobre posição, movimento próprio, magnitude e tipo espectral, sendo atualizado continuamente desde 1908.

Excluimos todas as estrelas duplas ou que apresentavam uma variabilidade muito grande em seu brilho (maior que 0,2 mag). Além dessas, estrelas que aparentavam estar mais próximas do que 5 pixels nas imagens também foram excluídas. Isso foi feito porque o algoritmo centralizador que localiza as estrelas na imagem tem um raio de ação pré-definido e por vezes enquadra uma estrela próxima que não deveria ser selecionada. Excluimos todas as estrelas mais fracas que magnitude $V = 3$. Isso se deve ao fato de que essas estrelas apresentam menor relação sinal-ruído e erros maiores durante o cálculo de fotometria. A amostra de estrelas com que trabalhamos contém cerca de 100 estrelas após essa primeira seleção.

Utilizamos também o software de astronomia computacional *PyEphem*. Esse programa acessa o cabeçalho das imagens da SASCA e obtém a data e horário em que foram obtidas. Com o auxílio da posição em latitude e longitude da câmera, calculamos a posição das estrelas do BSC para o instante da imagem. Como são necessárias apenas as estrelas que estão no céu em dado instante, selecionamos as estrelas cuja altitude é maior que zero (acima do horizonte). As demais foram descartadas dos arquivos. Entretanto, as coordenadas das posições dessas estrelas ainda estão em altitude e azimute. É necessário fazer a mesma transformação simples de coordenadas, tal como descrito na seção anterior (ver equação 2.1), e obter os respectivos valores em x, y em pixels nas imagens. Com isso temos uma listagem das posições projetadas sobre o CCD das estrelas brilhantes acima do horizonte.

Vale lembrar que estas posições em x, y ainda não são adequadas para identificação de estrelas nas imagens, uma vez que estas não estão distorcidas. Usamos as equações de transformações provenientes do GEOXYTRAN (ver seção 2.3) para distorcer as posições de acordo com o efeito da lente. O resultado é a identificação de dezenas de estrelas com magnitude menor que $V = 3,0$ dentro do campo de visão da câmera de todo céu, como visto na figura 7.

Uma vez que as posições das estrelas foram identificadas é possível fazer a fotometria desses objetos. Para isso usamos a rotina PHOT do IRAF,

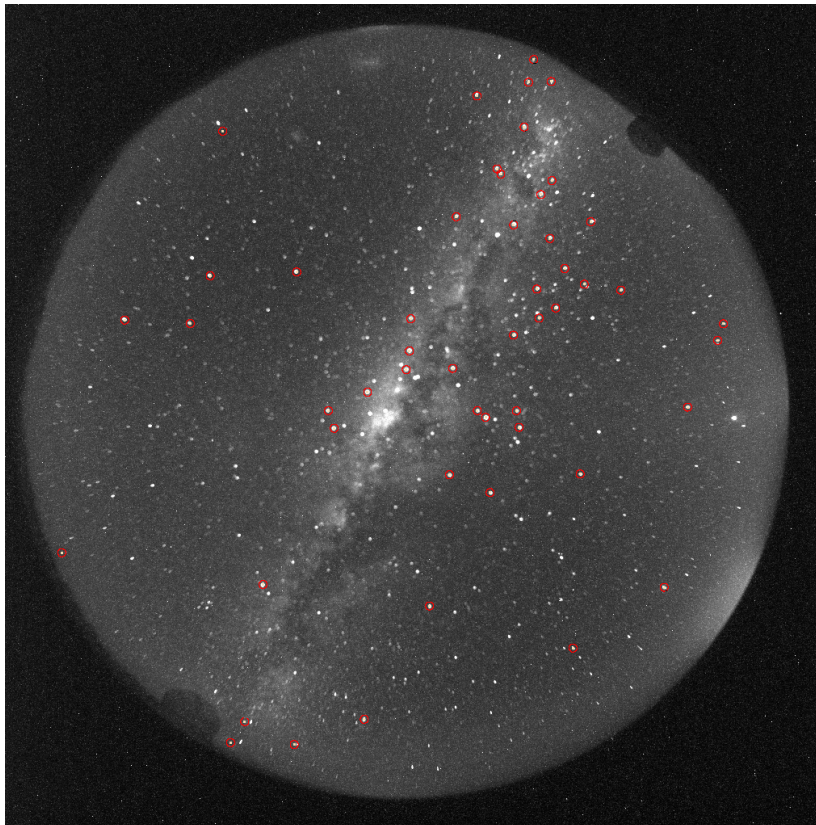


Figura 7 – Estrelas identificadas com o uso da rotina GEOXYTRAN.

pertencente aos pacotes `apphot` e `digiphot`. Os valores dos parâmetros usados no programa para a obtenção da magnitude instrumental das estrelas estão detalhados no Apêndice A.

As magnitudes instrumentais (aquelas obtidas através da contagem do número de elétrons gerados por pixel no CCD) para todas as estrelas em todos os instantes foram salvas em arquivos individuais.

Outro passo fundamental no método proposto é o cálculo da massa de ar para as estrelas consideradas. Como mostrado na Introdução, foram diversos os estudos que prometeram efetuar o cálculo de massa de ar com precisão cada vez maior. Nesse estudo utilizamos a fórmula de Kasten & Young (equação 2.2), que garante erros relativos menores que $\Delta = 0,5\%$ em relação aos valores padrões do U.S. ISO Standard Atmosphere (1972) e da

Organização Meteorológica Mundial. A fórmula mostrada na equação 2.2 foi retirada de (KASTEN; YOUNG, 1989).

$$\text{Massa de ar} = \frac{1}{\cos(z) + 0.50572 \cdot (96.07995 - z)^{-1.6364}} \quad (2.2)$$

Depois de todas essas etapas realizadas para cada instante da noite obtivemos tabelas para cada estrela com massa de ar, magnitude instrumental e erro na magnitude instrumental.

3 RESULTADOS

3.1 COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA COM ESTRELAS AO LONGO DA NOITE

Nesta equação, z é a distância zenital em graus.

Os dados coletados até esse momento (massa de ar, magnitude instrumental e erro na magnitude para cada estrela) foram suficientes para obter o valor do coeficiente de extinção atmosférica através do acompanhamento de estrelas individuais ao longo de toda uma noite. Para isso podemos utilizar o método de Bouguer modificado descrito por (MOITINHO, 2001).

Ao considerarmos duas medidas de uma estrela em duas diferentes massas de ar podemos obter uma outra forma da Lei de Bouguer, como podemos ver na equação 3.1, onde Δm é a diferença dentre as magnitudes da estrela entre diferentes massa de ar, e ΔX é a diferença entre as massas de ar.

$$\Delta m = k\Delta X \quad (3.1)$$

Com isso, eliminamos o termo m_0 , a magnitude da estrela fora da atmosfera, e a equação se torna independente da estrela em consideração. Chamaremos este método de Método de Moitinho.

Quando temos N medidas em diferentes massas de ar para uma certa estrela obtemos $N(N - 1)/2$ possíveis diferenças ΔX e Δm , onde $N - 1$ são independentes. A escolha mais simples seria considerar a medida de menor massa de ar como referência e subtraí-la das demais. Entretanto, qualquer erro nessa medida seria propagado sistematicamente em todas as outras diferenças. Assim, optamos por usar todas as possíveis diferenças juntas no mesmo gráfico, de forma que uma medida ruim seja diluída pela grande quantidade de pontos bons.

As figuras 8 e 9 mostram a aplicação do método de Bouguer modificado para as estrelas HR 5193 e HR 2326 para a noite de 6 de agosto de 2005, nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} respectivamente. O método dos mínimos quadrados nos fornece a melhor reta que ajusta os pontos. Forçamos para que o ajuste passe obrigatoriamente pelo ponto (0,0), e sua inclinação nos dá o coeficiente de extinção atmosférica de primeira ordem nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} para a noite em questão. Usamos o valor do erro na medida de magnitude instrumental como peso no ajuste. Fizemos isso dividindo a função de resíduos do ajuste de mínimos quadrados pelo valor do erro de magnitude para cada ponto.

Aplicamos o métodos a todas as estrelas consideradas nesta noite. A tabela 3 sumariza os resultados encontrados para a noite de 6 de agosto no

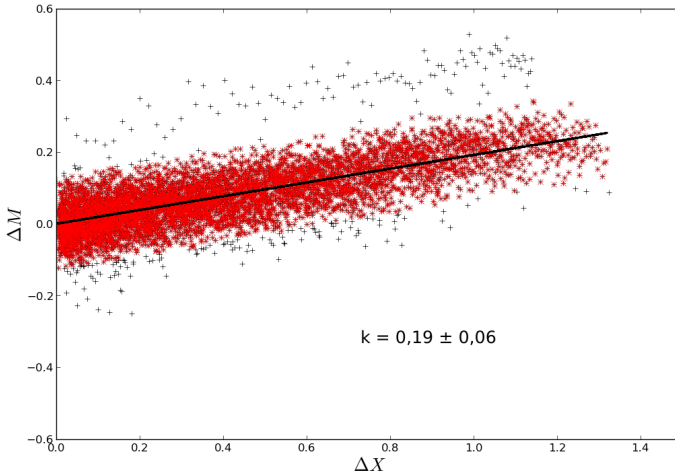


Figura 8 – ΔM em função de ΔX para a estrela HR 5193 no filtro \mathcal{B} na noite de 6 de agosto de 2005. As cruces (em preto) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos marcados em x (vermelhos) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada.

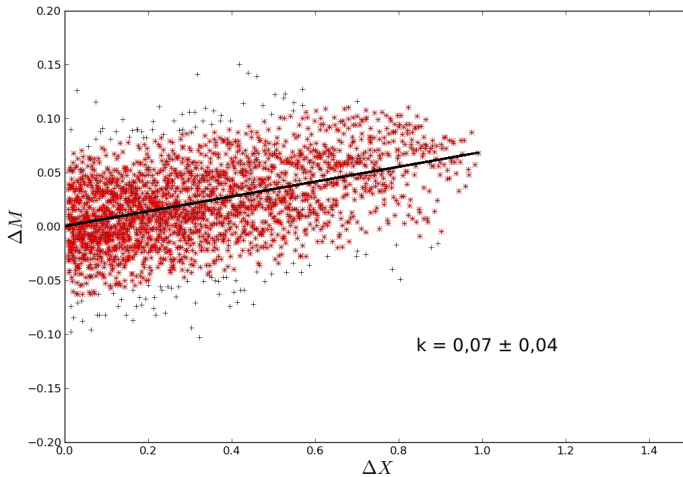


Figura 9 – ΔM em função de ΔX para a estrela HR 2326 no filtro \mathcal{R} na noite de 6 de agosto de 2005. As cruces (em preto) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos marcados em x (vermelhos) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada.

filtro \mathcal{B} , cujos valores também podem ser visualizados no histograma da figura 26. Como pode ser visto, há uma dispersão no coeficiente obtido para as diversas estrelas.

Tabela 3 – Lista de estrelas com respectivos coeficientes de extinção atmosférica (em mag/massa de ar) no filtro \mathcal{B} para a noite de 6 de agosto de 2005.

Estrela	k	Estrela	k	Estrela	k
HR 15	0,21	HR 2827	0,35	HR 5944	0,19
HR 39	0,08	HR 4199	0,27	HR 5953	0,21
HR 472	0,13	HR 4656	0,12	HR 6134	0,18
HR 553	0,09	HR 4757	0,26	HR 6165	0,22
HR 1165	0,16	HR 4798	0,28	HR 6175	0,21
HR 1457	0,14	HR 4844	0,13	HR 6378	0,19
HR 1666	0,14	HR 4853	0,18	HR 6510	0,20
HR 1713	0,15	HR 5028	0,21	HR 6553	0,19
HR 1790	0,15	HR 5056	0,21	HR 6556	0,24
HR 1865	0,13	HR 5132	0,16	HR 6580	0,16
HR 1899	0,19	HR 5193	0,19	HR 6879	0,21
HR 1956	0,16	HR 5231	0,18	HR 7121	0,22
HR 2004	0,18	HR 5267	0,18	HR 7194	0,20
HR 2061	0,20	HR 5340	0,21	HR 7557	0,18
HR 2282	0,14	HR 5440	0,20	HR 7790	0,18
HR 2294	0,12	HR 5469	0,20	HR 8353	0,13
HR 2326	0,16	HR 5576	0,36	HR 8425	0,11
HR 2491	0,14	HR 5671	0,22	HR 8728	0,10
HR 2618	0,15	HR 5685	0,21	HR 8781	0,18
HR 2653	0,03	HR 5776	0,21		
HR 2693	0,04	HR 5793	0,32		

Como temos uma grande quantidade de estrelas, é natural que algumas apresentem medidas divergentes por diversos motivos. Algumas estrelas aparecem em um período muito curto da noite e tem pontos insuficientes para se obter um valor confiável do coeficiente de extinção atmosférica. Para compensar esses valores errôneos construímos gráficos de todas as diferenças para todas as estrelas das noites 6 e 7 de agosto de 2005, tanto no filtro \mathcal{R} quanto no filtro \mathcal{B} , e obtivemos os gráficos 10 e 11 para a noite de 6 de agosto. Os gráficos 12 e 13 correspondem a noite de 7 de agosto. São cerca de 60 estrelas em cada um, cada estrela com $N=300$, o que representa cerca de 2600000 pontos para cada gráfico.

O valor de k obtido ($0,18 \pm 0,05$) para a noite de 6 de agosto está

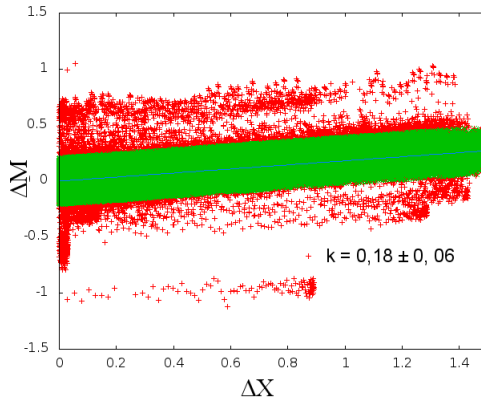


Figura 10 – ΔM em função de ΔX para a noite de 6 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B} . Os pontos em formato de cruz (vermelho) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos em formato de xis (verde) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima ou abaixo da melhor reta ajustada. Todas as estrelas foram consideradas nessa imagem.

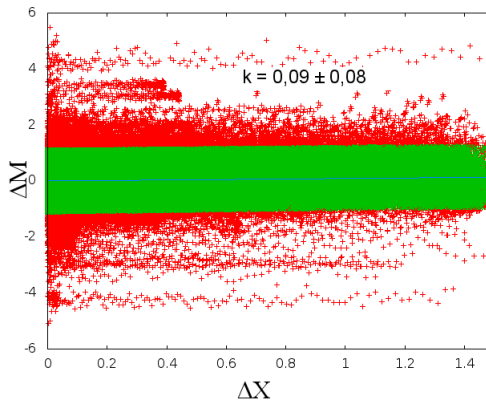


Figura 11 – ΔM em função de ΔX para a noite de 6 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{R} . Os pontos em formato de cruz (vermelho) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos em formato de xis (verde) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima ou abaixo da melhor reta ajustada. Todas as estrelas foram consideradas nessa imagem.

dentro do esperado para o comprimento de onda central¹ do filtro \mathcal{B} (470nm) para a região de Cerro Tololo. Para a noite de 7 de agosto o valor obtido foi $0,19 \pm 0,06$. A tabela 4 compara este número com valores obtidos em diversos outros estudos para um comprimento de onda de 470 nm. Como não

¹Não há informação sobre o comprimento de onda efetivo dos filtros utilizados na SASCA. Consideramos na tabela o valor do comprimento de onda central. Ele é definido como o ponto médio entre os comprimentos de onda da banda onde a transmissividade é 50% do pico.

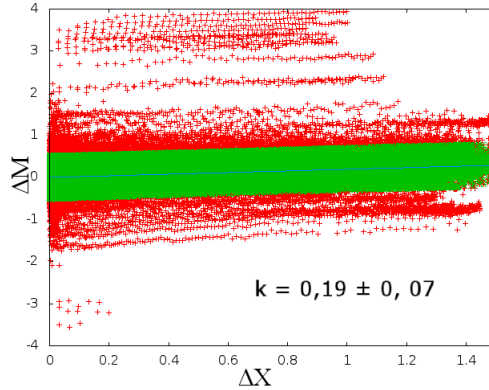


Figura 12 – ΔM em função de ΔX para a noite de 7 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B} . Os pontos em formato de cruz (vermelho) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos em formato de xis (verde) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima ou abaixo da melhor reta ajustada. Todas as estrelas foram consideradas nessa imagem.

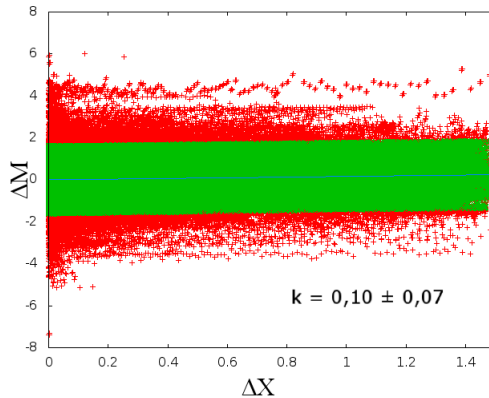


Figura 13 – ΔM em função de ΔX para a noite de 7 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B} . Os pontos em formato de cruz (vermelho) são as diferenças considerando todos os pontos da amostra. Os pontos em formato de xis (verde) são as diferenças após o descarte dos pontos que estavam 3σ acima ou abaixo da melhor reta ajustada. Todas as estrelas foram consideradas nessa imagem.

há valores específicos de extinção atmosférica para o Cerro Pachón fizemos a comparação com os valores para sítios próximos como Cerro Tololo e Cerro Paranal.

Na tabela 4 fazemos o comparativo com o filtro \mathcal{B} , para o qual o comprimento de onda central é 710 nm. O valor de k obtido em nosso estudo ($0,08 \pm 0,06$) na noite de 6 de agosto é consistente com os valores médios obtidos para outros sítios para o comprimento de onda de 710 nm. O valor de

k obtido para a noite de 7 de agosto é $0,10 \pm 0,07$.

Tabela 4 – Comparativo entre coeficientes de extinção atmosférica (em mag/massa de ar) para localidades próximas.

	Período	k (Filtro \mathcal{B})	k (Filtro \mathcal{R})
Cerro Pachón	Ago 2005 (dia 6)	0,18	0,09
	Ago 2005 (dia 7)	0,19	0,10
La Silla ^a	1974-76	0,16	0,04
Cerro Tololo I ^b	Jul 1975	0,177	-
	Ago 1980	0,168	0,026
Cerro Tololo II ^c	(1982)	0,22	0,08
Cerro Tololo III ^d	Jan 1984	0,266	0,100
	Abr 1984	0,204	0,070
	Mai 1984	0,194	0,062
	Jul 1984	0,226	0,082
Cerro Tololo IV ^e	Fev 1999	0,220	0,075
Cerro Paranal ^f	2008-09	0,190	0,064

^a(TüG, 1977)

^b(GUTIERREZ-MORENO; CORTES; MORENO, 1982)

^c(STONE; BALDWIN, 1983)

^d(GUTIERREZ-MORENO; MORENO; CORTES, 1986)

^e(STRITZINGER et al., 2005)

^f(PATAT et al., 2011)

É possível perceber uma grande variação dos valores dos coeficientes de extinção atmosférica nos diferentes períodos analisados por outros pesquisadores. Entre duas noites consecutivas o coeficiente pode variar até 15%, e numa mesma noite, até 2,5%, (RUFENER, 1986) (PATAT et al., 2011), sendo natural que datas diferentes apresentem valores diferentes para o coeficiente de extinção.

Há também uma variação em um período mais longo. Os valores de extinção atmosférica em La Silla na década de 70 foram os menores valores já observados. As erupções dos vulcões El Chichón (1983) e Pinatubo (1991) alteraram significativamente a extinção atmosférica na região de Cerro Tololo. Apenas recentemente é que os valores de extinção estão retornando aos valores atingidos pré-Pinatubo, atingindo valores mais próximos daqueles obtidos nos anos setenta. Isso pode ser observado nos resultados obtidos em nossas medidas. As imagens utilizadas foram obtidas em 2005, isto é, são valores intermediários entre aqueles obtidos por Stritzinger et al. com dados de 1999 e os obtidos por Patat et al. com dados de 2008 e 2009. A análise da variação dos valores de extinção nos estudos mais recentes mostra a tendência ao retorno dos valores obtidos em La Silla na década de 70, como pode ser inferido pela análise da tabela 4. Futuras medições deverão ser feitas para avaliar a consolidação desse fenômeno (PATAT et al., 2011).

3.1.1 Coeficientes de extinção atmosférica de segunda ordem

As considerações feitas até aqui são relativas apenas ao coeficiente de extinção atmosférica de primeira ordem, que não leva em consideração o efeito da cor das estrelas. Este é um efeito importante, pois estrelas de mesmo brilho, mas cores diferentes, apresentarão curvas de Bouguer diferentes em função da grande dependência da extinção com o comprimento de onda. Para levar este efeito em conta devemos acrescentar um outro termo à lei de Bouguer:

$$m(\lambda, h_0) = m(\lambda, h_1) + k'(\lambda, h)X(z) + k''(\lambda, h)X(z)C \quad (3.2)$$

Na equação 3.2, o termo C representa o índice de cor da estrela. O índice de cor é a diferença de magnitude em dois filtros vizinhos em comprimento de onda de um dado sistema fotométrico. No sistema fotométrico Johnson (UBV), por exemplo, temos índices de cor como (B-V) e (U-B). Nesse sistema, os comprimentos de onda efetivos são 364 nm para U, 442 nm para B e 540 nm para V. Entretanto, não podemos comparar diretamente os dados obtidos com o uso da SASCA para nossas estrelas com os valores de magnitude do sistema UBV, pois a transmissividade e comprimentos de ondas médios dos filtros são diferentes. Para que possamos compará-los é preciso realizar uma transformação entre o sistema da SASCA e o Johnson, de forma a evitar inconsistências (ZISSELL, 1998).

Como nossos filtros azul e vermelho são muito diferentes do B e R do sistema Johnson não vamos transformar nossas medidas para esse sistema. Vamos usar as medidas e os coeficientes em nosso próprio sistema de referência, deixando para o futuro a implementação de filtros Johnson na câmera de todo céu.

Assim, antes de obtermos os coeficientes de segunda ordem para as várias estrelas, vamos primeiro descrever a elaboração de nosso sistema fotométrico.

3.1.2 O sistema fotométrico

O primeiro passo para a obtenção do sistema fotométrico é a definição de um ponto zero. No sistema Johnson o ponto zero é representado pela estrela Vega, para a qual as magnitudes em todos os filtros foram definidas como zero. Dessa forma, seu índice de cor também é zero. Todas as outras

estrelas são comparadas a Vega: mais vermelhas ou mais azuis, mais fracas ou mais brilhantes (ZISSELL, 1998).

Infelizmente, na época do ano e latitude em que as imagens da SASCA foram obtidas, a estrela Vega aparece apenas durante um pequeno período da noite. Com poucas medidas não é possível ter boas estatísticas e os resultados se tornam mais passíveis de erros. Sendo assim, procuramos uma estrela de características semelhantes (brilho, temperatura, índice de cor) que fosse acompanhada durante toda a noite.

A estrela escolhida foi ζ **Ophiuchi**, uma estrela de magnitude $V = 2,5$ cujo índice de cor (B-V) é 0,032.

Uma vez em posse dos valores do coeficiente de extinção atmosférica nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} para essa noite podemos obter a magnitude de ζ Ophiuchi sem o efeito da atmosfera em nosso próprio sistema fotométrico. Consideramos o valor obtido como o ponto zero de nosso sistema.

Após obter as magnitudes instrumentais de todas as estrelas da noite, calculamos suas magnitudes fora da atmosfera pela lei de Bouguer dada na equação 1.8. Para deixar todos os valores consistentes subtraímos as magnitudes calculadas de todas essas estrelas do valor do ponto zero de nosso sistema fotométrico.

Assim obtivemos nosso próprio sistema fotométrico. Após esse processo temos tabelas com massa de ar, magnitude e magnitude fora da atmosfera nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} . Com esses dados é possível calcular os coeficientes de segunda ordem para cada uma das estrelas. As figuras 14 e 15 exemplificam o uso da equação 3.2 para a noite de 6 de agosto de 2005, nos filtros \mathcal{R} e \mathcal{B} , respectivamente. Os pontos em preto são valores descartados por ajuste linear robusto. Descartamos os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada. Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

As figuras 16 e 17 exemplificam o uso da equação 3.2 para a noite de 7 de agosto de 2005, nos filtros \mathcal{R} e \mathcal{B} , respectivamente. Indicamos os valores do coeficiente de extinção atmosférica total e do coeficiente de segunda ordem.

3.2 COEFICIENTE DE EXTINÇÃO ATMOSFÉRICA INSTANTÂNEO

3.2.1 Descrição

Nesta seção descrevemos o método que propomos neste trabalho. Este método consiste em medir o coeficiente de extinção de uma noite fotométrica usando uma única imagem, isto é, obter o coeficiente a cada instante.

Ao invés de obter a variação da magnitude instrumental com o au-

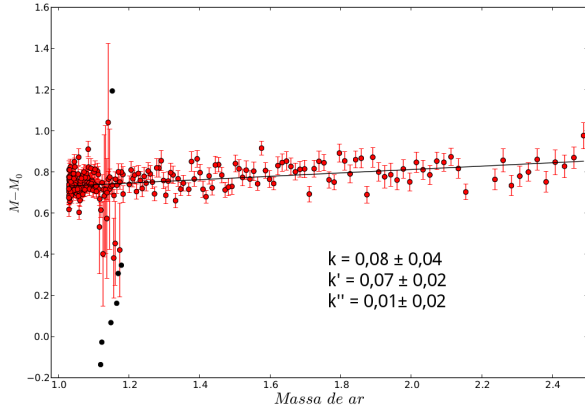


Figura 14 – Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 6553 no filtro \mathcal{R} para a noite de 6 de agosto de 2005. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total e dos coeficientes de primeira e segunda ordem estão indicados. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

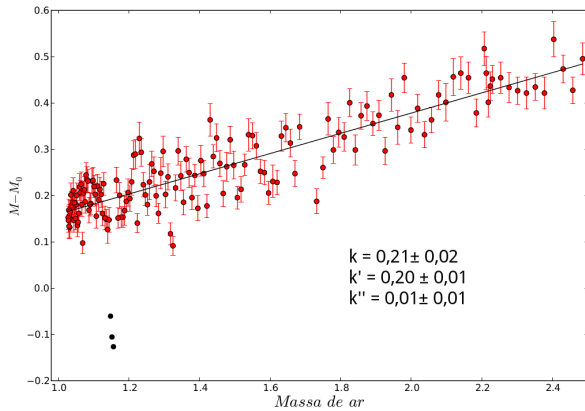


Figura 15 – Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 5776 no filtro \mathcal{R} para a noite de 6 de agosto de 2005. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total e dos coeficientes de primeira e segunda ordem estão indicados. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

mento da massa de ar, podemos obter a diferença entre a magnitude instrumental e a magnitude fora da atmosfera para muitas estrelas em uma única imagem em função da massa de ar. Com isso temos uma forma análoga de calcular a variação de brilho a partir da posição da estrela no céu.

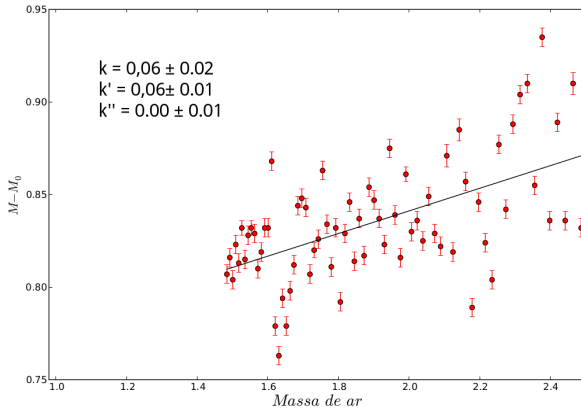


Figura 16 – Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 2326 no filtro \mathcal{R} para a noite de 7 de agosto de 2005. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total e dos coeficientes de primeira e segunda ordem estão indicados. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

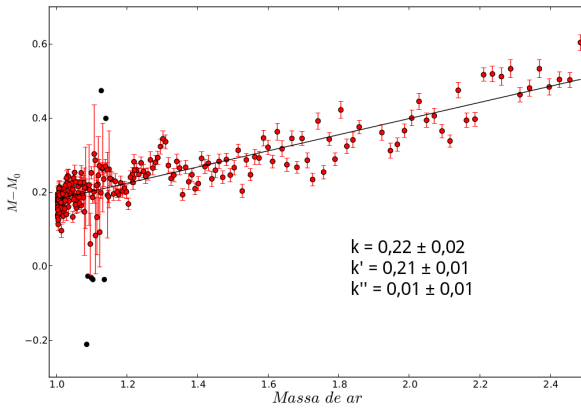


Figura 17 – Variação da magnitude em função da massa de ar da estrela HR 6879 no filtro \mathcal{R} para a noite de 7 de agosto de 2005. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total e dos coeficientes de primeira e segunda ordem estão indicados. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

Para que isso seja possível é necessário ter os valores de magnitude e massa de ar para estrelas suficientemente brilhantes (magnitude V no sistema Johnson < 3). Como descrito na seção anterior, obtivemos tabelas com todas essas informações.

O corte superior feito na escala de magnitudes garante que selecionemos estrelas em número suficiente na amostra para que o coeficiente de extinção atmosférica possa ser obtido. Assim, ao contrário de ter inúmeras medidas de uma mesma estrela para se obter a reta de Bouguer, cada estrela será um ponto nessa reta.

O número de estrelas com $V < 3$ e $X < 2,5$ varia à medida que a noite passa, variando de 35, quando a Via Láctea passa pelo zênite, a 12, quando ela chega ao horizonte.

Aplicamos esse método para as imagens de noites de 6 e 7 de agosto de 2005, as únicas noites fotométricas à nossa disposição. Para cada estrela brilhante anotamos os valores de magnitude instrumental (da qual havia sido subtraída a magnitude padrão) e os valores calculados de massa de ar com base na fórmula de Kasten & Young. Importante lembrar que as magnitudes estão sendo consideradas no nosso próprio sistema fotométrico, tal como descrito na seção 3.1.2

A figura 18 representa os dados e a respectiva reta de Bouguer obtida para 03h17min UT do dia 7 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B} . Importante salientar que cada ponto no gráfico é referente a uma das estrelas estudadas na seção 3.1.

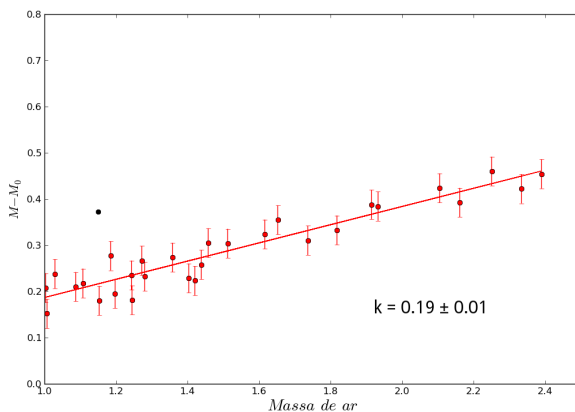


Figura 18 – Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude menor que 3 referente ao horário UT 03h17min. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total está indicado. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

As figuras 19, 20 e 21 mostram os resultados para outros momentos,

UT 02h09min, UT 06h28min e UT 08h39min respectivamente. Os pontos em preto são valores descartados por ajuste linear robusto. Descartamos os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada. Os pontos selecionados estão representados em vermelho. O gráfico para UT 08h39min é referente a um horário no qual a Via Láctea não está no céu e por isso temos menos estrelas disponíveis para efetuar o cálculo do coeficiente. Em função disso o valor obtido não é adequado. Discutiremos esse fato mais profundamente na próxima seção.

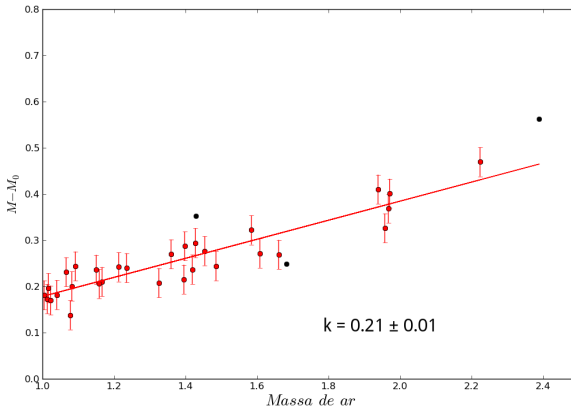


Figura 19 – Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude V menor que 3 referente ao horário UT 02h09min. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total está indicado. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

3.2.2 Noites fotométricas

Calculamos uma média do coeficiente de extinção atmosférica a cada dez medidas ao longo de toda noite para podermos visualizar a variação do valor do coeficiente.

A figura 22 representa a variação de coeficientes de extinção atmosférica para a noite de 6 de agosto de 2005 no filtro \mathcal{B} . É importante lembrar que, segundo os arquivos do Observatório de Cerro Tololo, esta é uma noite fotométrica, isto é, possui no mínimo 6h ininterruptas de céu sem nuvens.

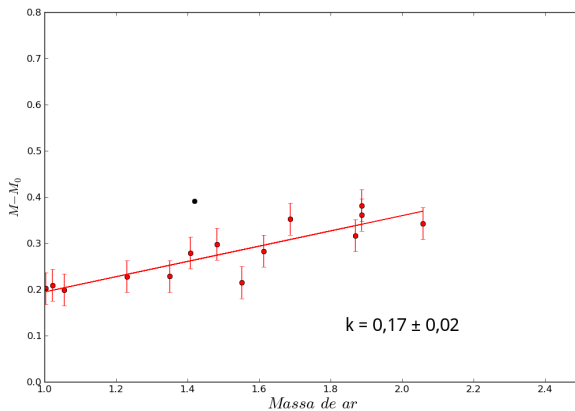


Figura 20 – Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude V que 3 referente ao horário UT 06h28min. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total está indicado. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

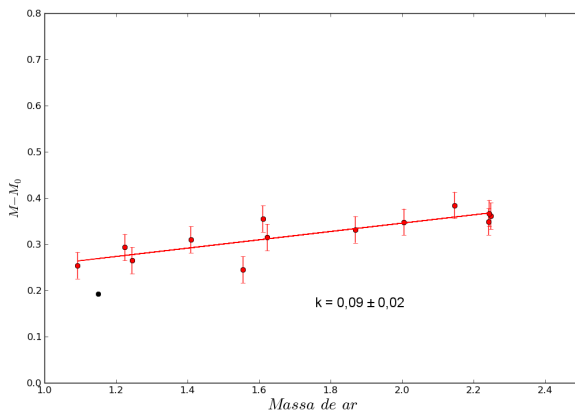


Figura 21 – Variação da magnitude em função da massa de ar com as estrelas de magnitude V menor que 3 referente ao horário UT 08h39min. O valor do coeficiente de extinção atmosférica total está indicado. As barras de erro indicam variação de 2σ . Os pontos que estavam 3σ acima e abaixo da melhor reta ajustada foram descartados (pontos pretos). Os pontos selecionados estão representados em vermelho.

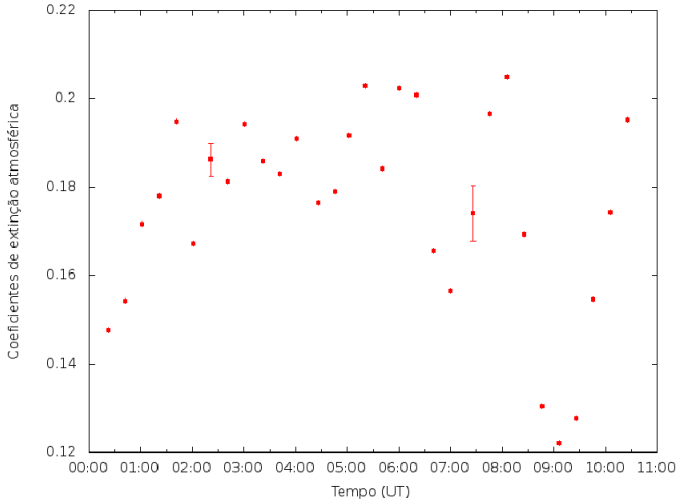


Figura 22 – Variação temporal dos coeficientes instantâneos de extinção atmosférica no filtro \mathcal{B} para a noite do dia 6 de agosto de 2005 em Cerro Pachón. As barras de erro indicam uma variação de 2σ para cada metade da noite (com Via Láctea/sem Via Láctea.)

Ao analisar a figura 22 é possível perceber variações no valor do coeficiente de extinção atmosférica ao longo da noite. Durante a primeira parte da noite (até UT 1h, com análise de cerca de 20 imagens) os índices são tão variados que nada se pode afirmar quanto à extinção. Isso acontece porque nessa primeira hora da noite ainda é perceptível a presença do Sol. A luz solar é bastante visível nas imagens, como pode ser observado na figura 24. Sendo assim, até que a luz do Sol desapareça é impossível obter valores válidos para o coeficiente.

A partir de UT 2h, o céu fica menos iluminado, sem a influência do Sol. O período de UT 2h-6h mostra que o coeficiente de extinção atmosférica calculado é estável, estando sempre entre 0,17 e 0,20. O valor médio desse período é 0,19, e o desvio padrão é 0,01. Comparando com os valores das tabelas 3 e 4, é possível perceber que o valor está de acordo com o esperado em uma noite fotométrica para o sítio em questão.

Há uma maior variação no período das UT 07h às UT 10h. Isso acontece porque nesse período a Via Láctea não está presente no céu. Tendo se posto às UT 07h ela aparecerá novamente apenas às UT 10h (próximo ao nascer do Sol em Cerro Pachón). Como as estrelas mais brilhantes do céu se encontram nessa faixa, durante todo o período em que ela não está visível não é possível selecionar estrelas em número suficiente para se obter uma

reta de Bouguer adequada. Com menos estrelas selecionadas, cada estrela tem um impacto maior no gráfico, de forma que as pequenas variações nas magnitudes calculadas ganham maior importância e são capazes de alterar consideravelmente o formato do gráfico. Esse efeito pode ser visto na figura 21.

Os valores dos coeficientes de extinção atmosférica instantâneos só se tornam estáveis e adequados novamente quando a Via Láctea ressurge no céu.

A figura 25 é uma imagem do período no qual a Via Láctea não está presente no céu, com as estrelas com magnitude V menor que 3 assinaladas. Também é importante observar que não utilizamos as estrelas muito próximas da borda, pois possuem massa de ar maior do que 2,5.

A figura 23 representa a variação de coeficientes de extinção atmosférica para a noite de 7 de agosto de 2005. Esta também foi uma noite fotométrica. Os pontos no gráfico representam a média do valor do coeficiente a cada dez medidas.

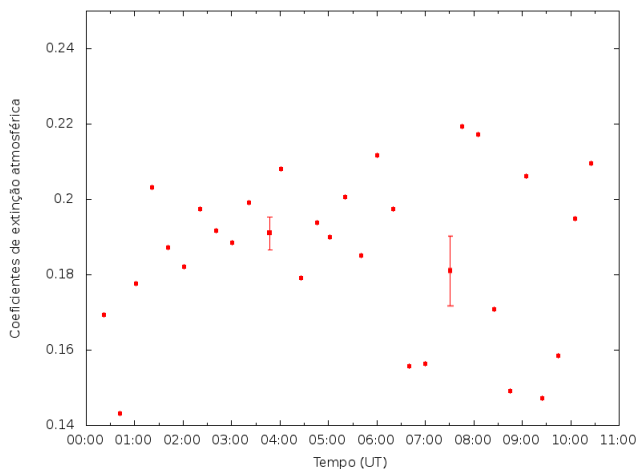


Figura 23 – Variação temporal dos coeficientes instantâneos de extinção atmosférica no filtro B para a noite do dia 7 de agosto de 2005 em Cerro Pachón. As barras de erro indicam uma variação de 2σ para cada metade da noite (com Via Láctea/sem Via Láctea.)

É possível reconhecer o mesmo formato do gráfico da figura 22: início e fim de noite com presença do Sol, e período no qual a Via Láctea não está presente no céu (UT 07-10h). Para essa noite, o período no qual o coeficiente de extinção atmosférica fica constante é o mesmo da noite anterior (UT 02-06h). O valor médio desse período é 0,19, com desvio padrão 0,02. Novamente, o coeficiente obtido está próximo do esperado para uma noite fotométrica.

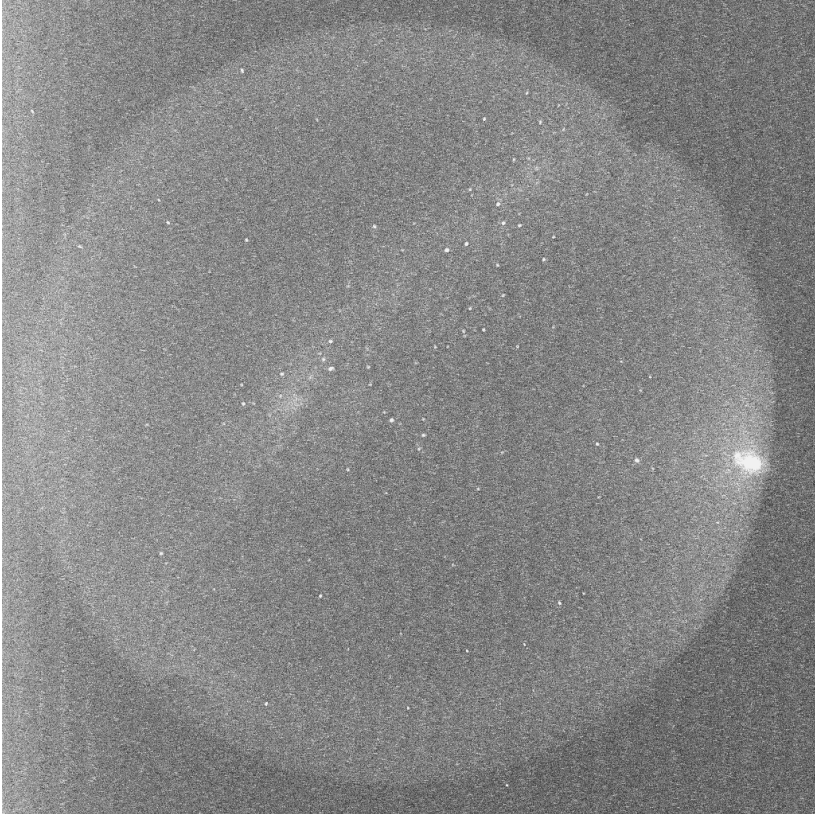


Figura 24 – Imagem no filtro \mathcal{B} em um instante em que o céu está iluminado pela luz do Sol, às UT 0h05 do dia 8 de agosto de 2005.

3.3 RESUMO DOS RESULTADOS

Nas seções anteriores demonstramos três formas diferentes para calcular o coeficiente de extinção atmosférica.

A primeira forma é baseada no método descrito por Moitinho (2001). Esse método consiste em considerar as diferenças entre medidas de magnitude e diferenças entre medidas de massa de ar em um mesmo gráfico para cada estrela. Dessa forma não há necessidade de usar o valor de M_0 no cálculo da lei de Bouguer. Para obter um valor do coeficiente de extinção atmosférica ainda mais preciso é possível construir um gráfico com as diferenças de massa de ar e magnitudes para todas as estrelas. Assim, caso uma estrela presente

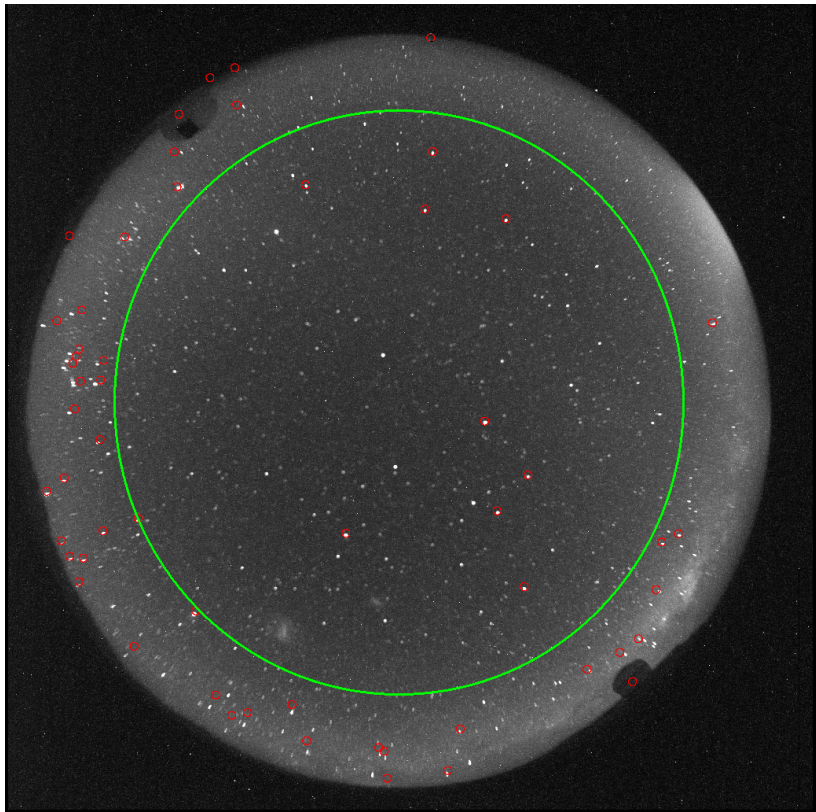


Figura 25 – Estrelas identificadas para o período em que a Via Láctea não é visível no céu, às UT 08h11 do dia 7 de agosto de 2005. O círculo verde indica a região do céu com massa de ar menor que 2,5. O que foi identificado fora do círculo não foi considerado nos cálculos.

medidas erradas ela será compensada pelo grande número de medidas corretas das outras estrelas.

O segundo método é utilizar a lei de Bouguer tradicional. Em nosso trabalho criamos o nosso próprio sistema fotométrico, de forma que durante o estudo de extinção não tivemos necessidade de transformar curvas de transmissão nos diferentes filtros utilizados pela SASCA. Esse método também permite obter o coeficiente de segunda ordem de forma imediata através do método dos mínimos quadrados.

O terceiro método consiste em obter os coeficientes de extinção atmosférica de forma instantânea. Isso é feito pela análise da variação da magnitude medida da estrela em relação à magnitude que a estrela tem sem efeito

da atmosfera. A relação dessa variação com o aumento da massa de ar nos permite calcular o coeficiente de extinção atmosférica.

Aplicamos os três métodos aos dados disponíveis e verificamos que os valores dos coeficientes de extinção atmosférica obtidos são muito próximos entre si, o que mostra a equivalência entre as diferentes formas de calculá-los.

Os histogramas a seguir exemplificam a correspondência entre os resultados obtidos. Para construí-lo utilizamos a distribuição dos valores de coeficientes de extinção obtidos para cada um dos métodos mencionados. As distribuições foram separadas por filtro (\mathcal{B} e \mathcal{R}) e por noite (dias 6 e 7 de agosto de 2005). As distribuições tracejadas em verde são referentes à noite do dia 6. As distribuições em linhas cheias azuis são referentes à noite do dia 7.

As linhas verticais no centro de cada histograma indicam o coeficiente de extinção atmosférica obtido pelo método de Moitinho ao considerarmos todas as estrelas em uma única medida. Por ser o método mais robusto (leva em consideração todos os dados obtidos) optamos por considerá-lo como um valor de referência. As linhas verticais tracejadas em verde indicam o valor do coeficiente de referência para a noite do dia 6. As linhas verticais em azul indicam o valor do coeficiente de referência para a noite do dia 7.

A figura 26 contém os histogramas nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} feitos para o método de Moitinho (equação 3.1). As distribuições apresentam uma grande dispersão, apresentando grande quantidade de estrelas com valores maiores do que o valor de referência (linhas verticais pretas). Isso se deve à inclusão de estrelas com erros em suas medidas de magnitude. A variação é maior quando consideramos o filtro \mathcal{R} . Esses erros são compensados quando colocamos todas as estrelas juntas em um mesmo cálculo do coeficiente de extinção.

A figura 27 contém os histogramas nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} calculados pelo método de Bouguer tradicional (equação (3.2)). Há uma grande dispersão nos valores de extinção obtidos (principalmente no filtro \mathcal{R}), também causada pela inclusão de estrelas com erros. Essas estrelas são normalmente descartadas, mas decidimos incluí-las de forma que os três métodos contêm as mesmas estrelas em suas amostras. Novamente, as linhas verticais representam o valor de referência obtido pelo método completo de Moitinho, verde para dia 6, azul para dia 7.

A figura 28 contém os histogramas nos filtros \mathcal{B} e \mathcal{R} calculados pelo método instantâneo. Há uma contagem maior em virtude da grande quantidade de imagens analisadas, cerca de 330 por noite. Cada uma dessas imagens contém cerca de 50 estrelas (as mesmas estrelas utilizadas pelos métodos de Moitinho e Bouguer analisados anteriormente). Aqui a dispersão é menor, pois consideramos todas as estrelas para obter cada um dos valores de

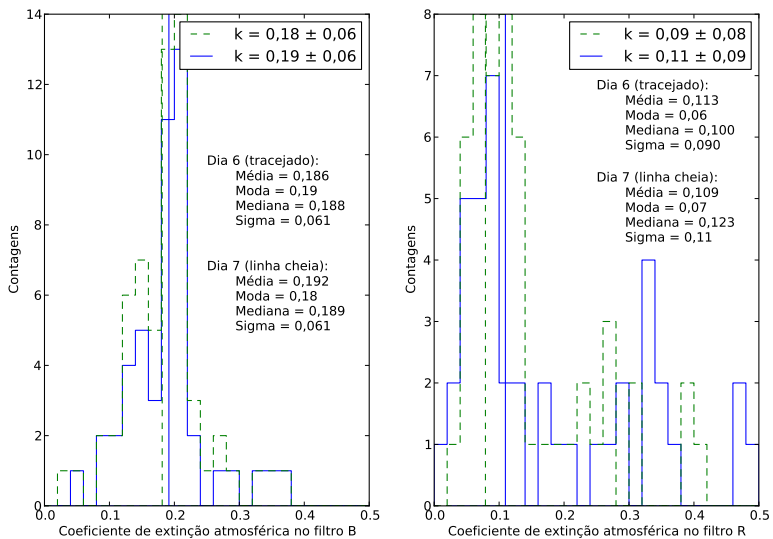


Figura 26 – Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados pelo método de Moitinho. Filtro \mathcal{B} (esquerda) e filtro \mathcal{R} (direita). Linhas verdes tracejadas são referentes ao do dia 6, e linhas cheias azuis ao dia 7. As linhas verticais indicam o valor do coeficiente de cada dia obtido pelo método completo de Moitinho.

extinção atmosférica.

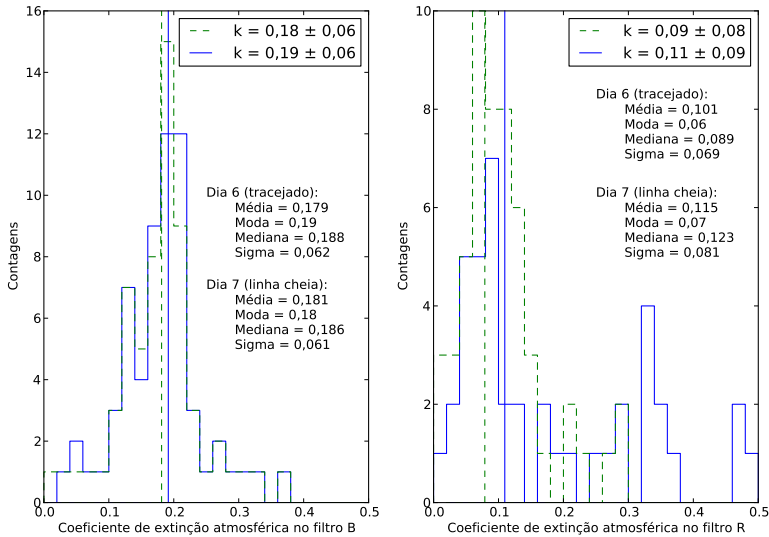


Figura 27 – Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados pelo método de Bouguer tradicional. Filtro \mathcal{B} (esquerda) e filtro \mathcal{R} (direita). Linhas verdes tracejadas são referentes ao do dia 6, e linhas cheias azuis ao dia 7. As linhas verticais indicam o valor do coeficiente de cada dia obtido pelo método completo de Moitinho.

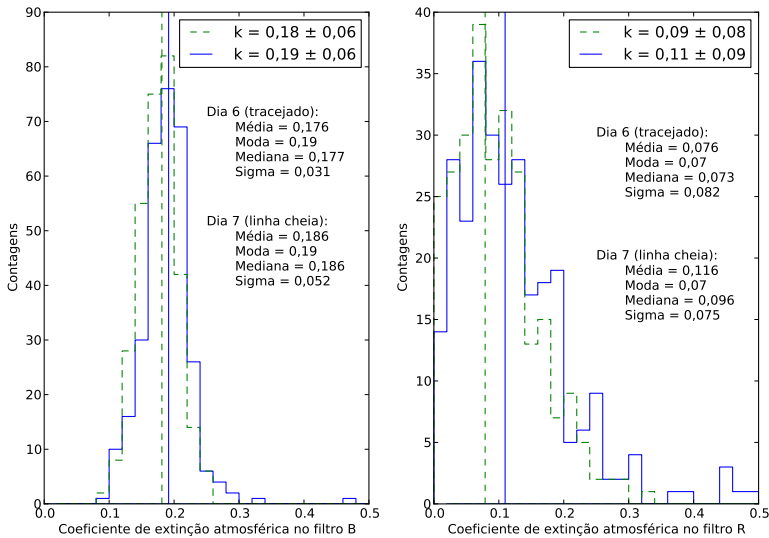


Figura 28 – Histograma da distribuição dos valores de extinção atmosférica calculados de forma instantânea. Filtro \mathcal{B} (esquerda) e filtro \mathcal{R} (direita). Linhas verdes tracejadas são referentes ao do dia 6, e linhas cheias azuis ao dia 7. As linhas verticais indicam o valor do coeficiente de cada dia obtido pelo método completo de Moitinho.

4 CONCLUSÃO

Apresentamos três métodos para cálculo do coeficiente de extinção atmosférica através do uso de uma câmera de todo céu. O primeiro método usa a lei de Bouguer tradicional, com a qual foi possível calcular os coeficientes de primeira e segunda ordem. Para isso ser possível foi necessário desenvolvermos um sistema fotométrico próprio baseado nos filtros da SASCA, a câmera de todo céu pertencente ao SOAR, no Cerro Pachón. O segundo método utiliza a lei Bouguer modificada, tal como descrito por Moitinho (MOITINHO, 2001) e permite obter o coeficiente de extinção sem a necessidade de usar a magnitude fora da atmosfera para as estrelas analisadas. Também propusemos um terceiro método que permite obter o valor do coeficiente de extinção instantaneamente. Ele se baseia na variação da magnitude instrumental em relação à magnitude fora da atmosfera de uma dada estrela em função do aumento da massa de ar.

Os resultados obtidos com esses métodos são os mesmos, o que mostra que as três formas de calcular o coeficiente de extinção atmosférica são consistentes entre si. Comparamos os resultados com os valores de coeficiente de extinção para diversos sítios astronômicos próximos ao Cerro Pachón e mostramos que nossos resultados estão coerentes com o esperado para os comprimentos de onda e época considerados.

A vantagem de nosso método proposto é permitir que o coeficiente de extinção atmosférica seja obtido de forma imediata desde que haja uma câmera de todo céu dedicada a imagear o céu em filtros diferentes durante toda a noite de observação. Além disso, ela permite que o astrônomo compute possíveis variações no valor do coeficiente ao longo da noite.

Uma outra vantagem é a facilidade de operação de uma câmera de todo céu. Ao contrário de um telescópio dedicado para obtenção do coeficiente de extinção atmosférica a câmera de todo céu não possui partes móveis. Com isso o trabalho se torna mais simples, assim como o custo de manutenção do equipamento.

Como os filtros utilizados pela SASCA são bastante diferentes daqueles utilizados em sistemas fotométricos padrões (Johnson e Strömgen, por exemplo), tivemos que desenvolver um sistema fotométrico próprio para a câmera de todo céu. Podemos melhorar os resultados obtidos com o coeficiente instantâneo com o uso de filtros B e V do sistema Johnson.

Existem ainda outras formas de melhorar os resultados obtidos, como aumentar o tempo de integração durante a aquisição das imagens. Além disso, poderemos diminuir os erros na fotometria se tivermos acesso a imagens de *bias*, *flats* e *darks* para a redução das imagens.

Por meio do uso de uma câmera de todo céu também é possível fazer outros estudos que auxiliem as noites de observação. No futuro pretendemos utilizar os dados disponíveis da SASCA para desenvolver uma forma de calcular a porcentagem do céu encoberta por nuvens. Isso será de grande utilidade para as observações remota e para o planejamento de estratégias de observações durante a noite.

REFERÊNCIAS

- Benitez, N. et al. J-PAS: The Javalambre-Physics of the Accelerated Universe Astrophysical Survey. **ArXiv e-prints**, mar. 2014. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014arXiv1403.5237B>>.
- DIAS, W. S. et al. Determinação da extinção atmosférica e brilho do céu no OPD. **Bol. da Soc. Astronômica Bras.**, v. 28, p. 1–4, 2010.
- GUTIERREZ-MORENO, A.; CORTES, G.; MORENO, H. A study of atmospheric extinction at Cerro Tololo Inter-American Observatory. **Publ. Astron. Soc. Pacific**, v. 94, p. 722, ago. 1982.
- GUTIERREZ-MORENO, A.; MORENO, H.; CORTES, G. A study of atmospheric extinction at Cerro Tololo Inter-American Observatory. II. **Publ. Astron. Soc. Pacific**, v. 98, p. 1208, nov. 1986.
- HOGG, D. W. et al. A Photometricity and Extinction Monitor at the Apache Point Observatory. **Astron. J.**, v. 122, n. 4, p. 2129–2138, out. 2001.
- KARTTUNEN, H. et al. **Fundamental astronomy**. 5th. ed. New York / Heidelberg: Springer, 2007. 510 p. ISBN 3540341439.
- KASTEN, F.; YOUNG, A. T. Revised optical air mass tables and approximation formula. **Appl. Opt.**, v. 28, n. 22, p. 4735, nov. 1989.
- MOITINHO, A. Open clusters in the third galactic quadrant. **Astron. Astrophys.**, v. 370, n. 2, p. 436–446, maio 2001.
- MOLES, M. et al. Site Testing of the Sierra de Javalambre: First Results. **Publ. Astron. Soc. Pacific**, v. 122, n. 889, p. 363–372, mar. 2010.
- PATAT, F. et al. Optical atmospheric extinction over Cerro Paranal. **Astron. Astrophys.**, v. 527, n. Patat 2003, p. A91, jan. 2011.
- RUFENER, F. The evolution of atmospheric extinction at La Silla. **Astron. Astrophys.**, v. 165, p. 275–286, 1986.
- STERKEN, C.; MANFROID, J. The evolution of atmospheric extinction at La Silla derived from measurements in the Stromgren photometric system. **Astron. Astrophys.**, 1992.
- STONE, R.; BALDWIN, J. Southern spectrophotometric standards for large telescopes. **Mon. Not. R. Astron. Soc.**, v. 204, p. 347–353, 1983.

STRITZINGER, M. et al. An Atlas of Spectrophotometric Landolt Standard Stars. **Publ. Astron. Soc. Pacific**, v. 117, n. 834, p. 810–822, ago. 2005.

TüG, H. Vertical extinction on La Silla. **Messenger**, p. 7–8, 1977.

WALKER, D. E.; SCHWARZ, H. E.; BUSTOS, E. Monitoring the night sky with the Cerro Tololo All-Sky camera for the TMT and LSST projects. In: STEPP, L. M. (Ed.). **SPIE 6267, Ground-based Airborne Telesc. (June 23, 2006)**. Orlando: SPIE, 2006. v. 6267, n. 2006.

ZISSELL, R. Evolution of the "Real" Visual Magnitude System. **J. Am. Assoc. Variable Star Obs.**, v. 26, n. 2, p. 151–161, 1998.

APÊNDICE A - Parâmetros do IRAF

A.1 PARÂMETROS DA ROTINA PHOT

PACKAGE = apphot

TASK = datapars

(scale =	1.) Image scale in units per pixel
(fwhmpsf=	1.5) FWHM of the PSF in scale units
(emissio=	yes) Features are positive ?
(sigma =	INDEF) Standard deviation of background in counts
(datamin=	INDEF) Minimum good data value
(datamax=	INDEF) Maximum good data value
(noise =	poisson) Noise model
(ccdread=	RESPONSE) CCD readout noise image header keyword
(gain =	EGAIN) CCD gain image header keyword
(readnoi=	0.) CCD readout noise in electrons
(epadu =	2.08) Gain in electrons per count
(exposur=	EXPTIME) Exposure time image header keyword
(airmass=	AIRMASS) Airmass image header keyword
(filter =	FILTER) Filter image header keyword
(obstime=	UTSHUT) Time of observation image header keyword
(itime =	1.) Exposure time
(xairmas=	INDEF) Airmass
(ifilter=	INDEF) Filter
(otime =	INDEF) Time of observation
(mode =	ql)

Tabela 5 – Parâmetros dos dados utilizados pela rotina DATAPARS.

PACKAGE = apphot

TASK = photpars

(weighti=	constant) Photometric weighting scheme for wphot
(apertur=	4.5) List of aperture radii in scale units
(zmag =	25.) Zero point of magnitude scale
(mkapert=	yes) Draw apertures on the display
(mode =	ql)

Tabela 6 – Parâmetros de fotometria utilizados pela rotina PHOTPARS.

PACKAGE = apphot
TASK = centerpars

(calgori=	centroid) Centering algorithm
(cbox =	10.) Centering box width in scale units
(ctresh=	0.) Centering threshold in sigma above background
(minsra=	1.) Minimum signal-to-noise ratio for centering algorithm
(cmaxite=	10) Maximum number of iterations for centering algorithm
(maxshif=	1.) Maximum center shift in scale units
(clean =	no) Symmetry clean before centering ?
(rclean =	1.) Cleaning radius in scale units
(rclip =	2.) Clipping radius in scale units
(kclean =	3.) Rejection limit in sigma
(mkcente=	yes) Mark the computed center on display ?
(mode =	ql)

Tabela 7 – Parâmetros de centralização utilizados pela rotina CENTERPARS.

PACKAGE = apphot
TASK = fitskypars

(salgori=	mode) Sky fitting algorithm
(annulus=	7.) Inner radius of sky annulus in scale units
(dannulu=	2.) Width of sky annulus in scale units
(skyvalu=	INDEF) User sky value
(smaxite=	INDEF) Maximum number of sky fitting iterations
(sloclip=	0.) Lower clipping factor in percent
(shiclip=	0.) Upper clipping factor in percent
(snrejec=	50) Maximum number of sky fitting rejection iterations
(slopeje=	3.) Lower K-sigma rejection limit in sky sigma
(shireje=	3.) Upper K-sigma rejection limit in sky sigma
(khist =	3.) Half width of histogram in sky sigma
(binsize=	0.1) Binsize of histogram in sky sigma
(smooth =	no) Boxcar smooth the histogram
(rgrow =	0.) Region growing radius in scale units
(mksky =	no) Mark sky annuli on the display
(mode =	ql)

Tabela 8 – Parâmetros do céu utilizados pela rotina FITSKYPARS.

APÊNDICE B – Códigos documentados

B.1 ALLSKY.PY

```

"""
Created on Jul 6, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

allsky.py --- This is the central program of the AllSky project. It's function
is to call all other programs and execute them one by one.

Parameters:
-----

Use with: $ python allsky.py
The user will be prompted with some questions for the proper behavior of the
various programs.

The programs can be used separately.
For that it is needed to provide in the command line the path to images directory
and, if needed, the path to the individual stars directory.
Please refer to the small programs' help docs for more information on how to run
each script.

A guide with step-by-step usage of allsky.py can be found in the file TUTORIAL.txt.

Returns:
-----
Multiple tables and plots.
Within the Images directory will be created the following files for each image:
[Image].out - from skycalc.py
[Image].out.xy - from altaz2xy.py
[Image].out.xy.done - from geoxy.py
[Image].out.xy.done.az - from desconvert.py
[Image].out.xy.done.az.am - from airmass.py
[Image].mag - from phot.py
[Image].magnitude - from phot.py
[Image].pd - from instant.py
[Image].pd.t2 - from subtract.py
[Image].pd.t2.png - from linear.py

Within the Individual Stars directory will be created the following files for
each identified star:
[star].pdst - from starlist.py
[star].pdst.tbl - from subtract.py
[star].pdst.tbl.png - from linear.py

Please refer to each indicated program for detailed information.

"""

import airmass
import altaz2xy
import desconvert
import geoxy
import instant
import linear
import phot
import skycalc
import starlist
import subtract
import sys

def Allsky(input):

    #Defining the paths
    image_path = raw_input("Path to the directory of the images: ")
    star_path = raw_input("Path to the directory individual star files: ")

    skycalc.Calc(image_path)
    altaz2xy.Convert(image_path)
    geoxy.Geoxy(image_path)
    phot.Photometry(image_path)
    desconvert.Desconvert(image_path)
    airmass.Airmass(image_path)
    instant.ImageTable(image_path)
    starlist.StarTable(image_path, star_path)
    subtract.CatMag(image_path, star_path)

    #Calculating the atmospheric extinction coefficient
    linear.Fitting(image_path, star_path)

```

```
if __name__ == "__main__":
    Allsky(sys.argv[1:])
```

B.2 SKYCALC.PY

```
"""
Created on May 02, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

skycalc.py --- This program uses PyEphem (version 3.7.3.4) to compute stellar positions.
The database is provided by the Bright Star Catalog.
The BSG contains star name, spectral type, declination, right ascension, mag V,
epoch and color index (B-V).
Additional information is taken from the images headers with the use of PyEphem
The alt ,az coordinates are calculated only for stars with V < 3.

Parameters:
-----
Use with: $ python skycalc.py /path/to/ImagesDirectory/

Returns:
-----
[image].out
Table with (alt,az) coordinates, magnitude and name for all the stars with
mag V < 3 for the time and local given in image headers.
"""
import ephem
import glob
import ephem.stars
import numpy as np
import pyfits as pf
import sys
import re
import fileinput

def Calc(path):
    print "Starting Skycalc..."
    mag_cut = raw_input("Highest value of magnitude of the stars: ")
    print "Calculating star positions. Please wait."
    #os.chdir("/home/germano/workspace/SkyCalc/ImageFiles")
    images = glob.glob(path + "*.fits")

    for i in images:
        f = pf.open(i)
        h, d = f[0].header, f[0].data

        Obs = ephem.Observer()

        #Obs data
        Obs.lat = '-30:10:20.86692'
        Obs.long = '-70:48:00.15364'
        Obs.elevation = 2123.090
        Obs.date = ephem.date(re.sub('-','/',h['date']))+' '+h['utshut']
        star_pos = []

        #Position calculations
        BSC = path + 'BSC.edb' #Bright Star Catalog

        for line in fileinput.input(BSC):
            star = ephem.readdb(line)
            star.compute(Obs)
            if (float(star.mag) < mag_cut):
                line = line.split(',')
                line[6].rstrip()
                star_pos.append([float(star.alt) , float(star.az),
                                float(star.mag), float(star.name), float(line[6])])

            star_position = open(i + '.out', 'w')
            np.savetxt(star_position, star_pos, '%s')
            star_position.close()

if __name__ == "__main__":
    Calc(sys.argv[1])
```

B.3 ALTAZ2XY.PY

```

"""
Created on May 21, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

altaz2xy.py --- This program transforms the alt, az coordinates from skycalc.py
into pixel coordinates (X,Y) for each SASCA image.

Parameters:
-----
Use with: $ python altaz2xy.py /path/to/ImagesDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images.

Returns:
-----
[image].out.xy
Table with X,Y coordinates, mag V, name and color index (B-V) for all the stars
"""

import glob
import numpy as np

def Convert(path):
    print "Starting altaz2xy..."
    hor_coord = glob.glob(path + "/*.out")

    for i in hor_coord:
        alt, az, mags, name, bv = np.loadtxt(i, unpack=True, usecols = (0,1,2,3,4))

        xy = []

        NOVENTA = 1.570796325 #90 degrees in radians

        #Coordinate transformations
        mask = np.where(alt >= 0 )
        alt = alt[mask]
        az = az[mask]
        mags = mags[mask]
        name = name[mask]
        bv = bv[mask]

        xy.append([(NOVENTA-alt)*(512./NOVENTA)*np.cos(az+NOVENTA)+512. ,
                    (NOVENTA-alt)*(512./NOVENTA)*(-1)*np.sin(az+NOVENTA)+512.,
                    mags, name, bv])

        xy = np.column_stack(xy)
        dataout = np.transpose(xy)
        coord = open(i + ".xy", "w")
        np.savetxt(coord, dataout, '%s')
        coord.close()

if __name__ == "__main__":
    Convert(sys.argv[1])

```

B.4 GEOXY.PY

```

"""
Created on Jul 3, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

geoxy.py --- This program distorts the alt, az coordinates from skycalc.py
into pixel coordinates (X,Y) for each SASCA image.

Parameters:
-----
Use with: $ python geoxy.py /path/to/ImagesDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images.

```

```

Returns:
-----
    Table with the distorted X,Y coordinates for all the stars

"""

import os
import sys
import glob
from pyraf import iraf

#Getting access to Iraf
login = "home$login.cl"
iraf.task(login = "home$login.cl")
p = iraf.login.getCode()
eval('p')

def Geoxy(path):
    print "Starting Geoxy..."
    filename = path
    os.chdir(filename)
    corrected = glob.glob("*.xy")

    #Removing existing files
    filelist = glob.glob("*.done")
    for f in filelist:
        os.remove(f)

    #Transforming coordinates
    print "Saving files with the new coordinates."
    for i in corrected:
        iraf.images(_doprint=0)
        iraf.immatch(_doprint=0)
        iraf.geoxy(input=i, output=i+'.done', database='data3', transforms='trans3')

if __name__ == "__main__":
    Geoxy(sys.argv[1])

```

B.5 PHOT.PY

```

'''
Created on Jul 21, 2012

@author: Germano S. Bortolotto
'''

import os
import sys
import glob
from pyraf import iraf

"""
phot.py --- This program performs photometry for the previously identified stars
using the coordinates obtained via geoxy.py.

Parameters:
-----
    Use with: $ python phot.py

Returns:
-----
    Two different tables:
    [image].mag - follows IRAF standards.
    [image].magnitude - A simple list with magnitude, and error of magnitude for
    all stars identified in the field for each image.

"""

#Get access to Iraf
login = "home$login.cl"
iraf.task(login = "home$login.cl")
p = iraf.login.getCode()

eval('p')

```

```

def Photometry(path):
    print "Starting Photometry..."
    print "This can take a long time. Go drink some coffee!"
    filename = path #raw_input("Path to the directory of the images: ")
    os.chdir(filename)

    iraf.noao(_doprint=0)
    iraf.digiphot(_doprint=0)
    iraf.apphot(_doprint=0)

    #Parameter settings
    iraf.centerpars.setParam('calgorithm', 'centroid', check=0, exact=0)
    iraf.centerpars.setParam('cbox', '10.0', check=0, exact=0)
    iraf.centerpars.saveParList(filename="center.par")
    iraf.centerpars.setParList(ParList="center.par")

    iraf.fitskypars.setParam('salgorithm', 'mode', check=0, exact=0)
    iraf.fitskypars.setParam('annulus', '7.0')
    iraf.fitskypars.setParam('dannulus', '2.0', check=0, exact=0)
    iraf.fitskypars.saveParList(filename='fits.par')
    iraf.fitskypars.setParList(ParList='fits.par')

    iraf.photpars.setParam('apertures', '4.5', check=0, exact=0)
    iraf.photpars.saveParList(filename='phot.par')
    iraf.photpars.setParList(ParList='phot.par')

    iraf.datapars.setParam('fwhm', 'INDEF', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('sigma', 'INDEF', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('datamin', 'INDEF', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('datamax', 'INDEF', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('ccdread', 'RESPONSE', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('gain', 'EGAIN', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('exposur', 'EXPTIME', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('airmass', 'AIRMASS', check=0, exact=0)
    #iraf.datapars.setParam('xairmas', '1.', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('obstime', 'UTSHUT', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.setParam('filter', 'FILTER', check=0, exact=0)
    iraf.datapars.saveParList(filename='data.par')
    iraf.datapars.setParList(ParList='data.par')

    #Takes the necessary parameters
    iraf.centerpars.getParam('calgorithm', native=1, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.centerpars.getParam('cbox', native=1, exact=0, prompt=0)

    iraf.fitskypars.getParam('salgorithm', native=1, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.fitskypars.getParam('annulus', native=1, exact=0, prompt=0)
    iraf.fitskypars.getParam('dannulus', native=1, exact=0, prompt=0)

    iraf.photpars.getParam('apertures', native=1, mode="h", exact=0, prompt=0)

    iraf.datapars.getParam('fwhm', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('sigma', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('datamin', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('datamax', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('ccdread', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('gain', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('exposur', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('airmass', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('xairmas', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('obstime', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)
    iraf.datapars.getParam('filter', native=0, mode="h", exact=0, prompt=0)

    #Removing existing files
    filelist1 = glob.glob("*.mag")
    filelist2 = glob.glob("*.magnitude")

    for f in filelist1:
        os.remove(f)
    for g in filelist2:
        os.remove(g)

    #Photometry
    print "Extracting magnitude and magnitude error from the files created by Pyraf"
    images = glob.glob("*.fits")
    for i in images:
        tr_coord = i + '.out.xy.done'
        iraf.phot(image = i, output = i + '.mag', coords = tr_coord, interactive = 'no',
        wcsin = 'tv', skyfile = '', verify='no', verbose='no' )

```

```

#uses IRAF's pdump to take MAG values from the PHOT's output file
photometry = glob.glob("*.mag")
for j in photometry:
    iraf.pdump(j, 'MAG, MERR', 'yes', Stdout = j + 'nitide')

if __name__ == "__main__":
    Photometry(sys.argv[1])

```

B.6 DESCONVERT.PY

```

"""
Created on Jul 13, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

desconvert.py --- This program transforms the x, y coordinates from geoxy.py
into horizontal coordinates (alt,az) for each SASCA Image.

Parameters:
-----
    Use with: $ python altaz2xy.py /path/to/ImagesDirectory/

    Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images.

Returns:
-----
    [image].out.xy.done.az
    Table with zenith distance, y, mag V, and name for all the stars.
"""

import sys
import glob
import numpy as np

def Desconvert(path):
    print "Starting Desconvert..."

    files_in_a_folder = glob.glob(path + "/*.done")

    for file_ in files_in_a_folder:
        xphoto,y,mags,name = np.loadtxt(file_, unpack=True, usecols=(0,1,2,3))

        altaz = []

        col1 = np.array(xphoto)
        col2 = np.array(y)
        NOV = 1.570796325 #90 degrees in radians

        #Convert from cartesian coord to horizontal coords
        # (Actually only the zenith distance -> azimuth is not important here)
        altaz.append([np.sqrt((col1-512)*(col1-512) + (col2-512)*(col2-512))*NOV/512. ,
                     col2, mags, name])

        altaz = np.array(altaz)
        altaz = np.column_stack(altaz)
        dataout = np.transpose(altaz)

        #Save the file with zenith distance, y, mag V, name
        coord = open(file_ + '.az', 'w')
        np.savetxt(coord, dataout)

if __name__ == "__main__":
    Desconvert(sys.argv[1])

```

B.7 AIRMASS.PY

```

"""
Created on Sep 20, 2012

```

```

@author: Germano S. Bortolotto

airmass.py --- This program calculates the airmass based on the zenith
distance calculated by desconvert.py for every previously identified star in each
SASCA image. The airmass is calculated using the Kasten & Young Formula:
Kasten, F. & Young, A.T. Revised optical air mass tables and approximation
formula. Applied optics 28, 4735-4738 (1989).

Parameters:
-----
Use with: $ python altaz2xy.py /path/to/ImagesDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images.

Returns:
-----
[image].out.xy.done.az.am
Table with airmass, mag V, name and hour of the image for all the stars
in each image from SASCA.

"""

import os
import numpy as np
import sys
import glob

def Airmass(image_path):
    print "Starting Airmass..."
    filename = image_path
    os.chdir(filename)
    files_in_a_folder = glob.glob("*.az")

    for file_ in files_in_a_folder:

        X = []
        z, coluna, mags, name = np.loadtxt(file_, unpack=True, usecols = (0,1,2,3))
        z = np.array(z)
        coluna = np.array(coluna)

        #Calculate airmass using the Kasten & Young Formula
        cosZrad = np.cos(z)
        Zdec = np.rad2deg(z)

        X.append([np.divide(1., cosZrad+0.50572*(96.07995-Zdec)**(-1.6364)),
                 mags, name])

        #Saves a file with airmass, instrumental magnitude and star_name
        X = np.array(X)
        X = np.column_stack(X)
        dataout = np.transpose(X)
        texto = open(file_+'.am', 'w')
        np.savetxt(texto, dataout, '%s', newline='\n')

if __name__ == "__main__":
    Airmass(sys.argv[1])

```

B.8 INSTANT.PY

```

"""
Created on Feb 20, 2014

@author: Germano S. Bortolotto

instant.py --- This program organizes all the information obtained so far of the
stars in each image (airmass, magnitude, error in magnitude, star name) with the
respectives outside the atmosphere magnitudes in filter B and R.

Parameters:
-----
Use with: $ python instant.py /path/to/ImagesDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images.

Returns:
-----

```

```

-----
[image].pd
Table with magnitude error, name, airmass, instrumental magnitude, magB and
mag R for all the identified stars in the image.

"""

import sys
import glob
import numpy as np
import pandas as pd

def ImageTable(image_path):

    filename = image_path

    #File with the calculated MagZero for all the identified stars in filter B and R
    name, B, R = np.loadtxt(image_path + 'MagZero', unpack=True, usecols=(0,1,2))

    files_in_a_folder = glob.glob(filename + "*.fits")

    for file_ in files_in_a_folder:
        obj_name = np.loadtxt(file_+".out.xy.done", unpack=True, usecols=(3))
        obj_mag = np.loadtxt(file_ + ".magnitude", unpack=True, usecols=(0,1),
                             dtype='string')
        obj_airmass = np.loadtxt(file_ + ".out.xy.done.az.am", usecols=[0])

        #Creates data frames from the data provided
        gh = pd.DataFrame({'names': name, 'magB': B, 'magR': R})
        df = pd.DataFrame({'names': obj_name, 'obj_mag': obj_mag[0],
                           'mag_error': obj_mag[1], 'obj_airmass': obj_airmass})
        new_df = pd.DataFrame()

        #Selects only the stars with determined mag from outside the atmosphere
        for i in gh['names']:
            new_df = new_df.append(df.ix[df['names'] == i], ignore_index=True)

        data = pd.merge(new_df, gh, on='names')
        data.to_csv(file_+'.pd', index=False, header=False, sep=' ',
                    float_format='%s')

if __name__ == "__main__":
    ImageTable(sys.argv[1])

```

B.9 STARLIST.PY

```

"""
Created on Apr 27, 2014

@author: Germano S. Bortolotto

starlist.py --- This program separates the data of the entire night, organized by
instant.py, to each of the stars.

Parameters:
-----
Use with: $ python instant.py /path/to/ImagesDirectory/ /path/to/StarsDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images, and
/path/to/StarsDirectory/ is the path to put the individual stars files.

Returns:
-----
[star].pdst
Table with magnitude error, name, airmass, instrumental magnitude, magB and
mag R for each [star]. This data covers the information of all the instants
of the night (all the images).

"""

import os
import glob
import pdstar
import numpy as np
import sys

```



```

def StarTable(image_path, star_path):

    # Setting Paths
    name, B, R = np.loadtxt(image_path + 'MagZero', unpack= True, usecols = (0,1,2) )
    files_in_a_folder = glob.glob(image_path + "/*.fits")
    destination_path = star_path

    print "Starting Starlist..."

    #Removing existing files
    filelist = glob.glob(destination_path + "*.pdst")
    for f in filelist:
        os.remove(f)

    for file_ in files_in_a_folder:

        obj_name = file_ + ".pd"
        myStarList = pdstar.StarList(obj_name)

        #Data for each star using all the images
        for i in myStarList.get_name(myStarList.name_list):
            lists = []
            lists.append([myStarList.get_airmass(i),
                          myStarList.get_mag_calc(i),
                          myStarList.get_B(i),
                          myStarList.get_R(i),
                          myStarList.get_name(i),
                          myStarList.get_mag_error(i)])

            lists = np.column_stack(lists)
            final_list = np.transpose(lists)
            antares = open(destination_path + str(i) + '.pdst', 'a')

            np.savetxt(antares, final_list, '%s')

if __name__ == "__main__":
    StarTable(sys.argv[1],sys.argv[2])

```

B.10 PDSTAR.PY

```

'''
Created on Sep 5, 2012

@author: Germano S. Bortolotto
'''

class StarList:
    """
    This class open the various columns of the file refered to as
    'obj_name' and selects the correct values corresponding to a certain star name.
    """

    def __init__(self, obj_name): #obj_name

        import numpy as np

        self.name_list = np.loadtxt(obj_name, usecols=[1])
        self.B_list = np.loadtxt(obj_name, usecols=[4])
        self.R_list = np.loadtxt(obj_name, usecols=[5])
        self.mag_list_calc = np.loadtxt(obj_name, usecols=[3], dtype='string')
        self.mag_list_error = np.loadtxt(obj_name, usecols=[0], dtype='string')
        self.air_list = np.loadtxt(obj_name, usecols=[2])

    def get_airmass(self, name):
        """
        Return the airmass of an object with name "name"
        """
        from numpy import where
        return self.air_list[where(self.name_list == name)]

    def get_B(self, name):
        """
        Return the B outside the atmosphere magnitude of an object with name "name"
        """
        from numpy import where
        return self.B_list[where(self.name_list == name)]

```

```

def get_R(self, name):
    """
    Return the R outside the atmosphere magnitude of an object with name "name"
    """
    from numpy import where
    return self.R_list[where(self.name_list == name)]

def get_mag_calc(self, name):
    """
    Return the instrumental magnitude of an object with name "name"
    """
    from numpy import where
    return self.mag_list_calc[where(self.name_list == name)]

def get_mag_error(self, name):
    """
    Return the instrumental magnitude error of an object with name "name"
    """
    from numpy import where
    return self.mag_list_error[where(self.name_list == name)]

def get_name(self, name):
    """
    Return the name of an object with name "name"
    """
    from numpy import where
    return self.name_list[where(self.name_list == name)]

```

B.11 SUBTRACT.PY

```

"""
Created on Nov 27, 2012

@author: Germano S. Bortolotto

subtract.py --- This program subtracts the instrumental magnitude with the zero
point magnitude (MagZero) for each different filter used for all the identified
stars. This is done separately for each instant in the night and for all the
instants for a given star.
It also excludes stars up to mag 4 with too few data points or problems in
localization coordinates.

Parameters:
-----
Use with: $ python subtract.py /path/to/ImagesDirectory/ /path/to/StarsDirectory/

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images, and
/path/to/StarsDirectory/ is the path where are the individual stars files.

Returns:
-----
[star name].pdst.tb1
Table with airmass, instrumental magnitude - MagZero, star name, mag B,
mag R, error in instrumental magnitude for all the identified stars
throughout the entire night.

[image].pd.t2
Table with airmass, instrumental magnitude - MagZero, star name, mag B,
mag R, error in instrumental magnitude for all the identified stars for a
given instant.

"""
import sys
import glob
import numpy as np

def CatMag(image_path, star_path):
    print "Starting CatalogMag..."

    #Agglutinating files
    DirEstrelas = glob.glob(star_path + "*.pdst")
    DirTempos = glob.glob(image_path + "**.pd")

    limAX = 2.5
    filter = raw_input("Which filter is being used in the images? (B/R): ")

    #Zero point magnitudes of the photometric system

```

```

ZeroB = 17.580624041
ZeroR = 17.709511786

for file1 in DirEstrelas:
    am, mag_inst, B, R, name1, mag_err = np.genfromtxt(file1, unpack=True,
                                                       usecols = (0,1,2,3,4,5),
                                                       missing_values = "INDEF")

    if filter == 'B':
        menosmag = mag_inst - B - ZeroB
    if filter == 'R':
        menosmag = mag_inst - R - ZeroR
    else:
        print "Please choose the filter red (R) or blue (B)."

```

B.12 LINEAR.PY

```

"""
Created on Nov 14, 2013

@author: Germano S. Bortolotto

linear.py --- This program calculates the extinction coefficient by two
different methods:

The first one calculates the extinction coefficient based on the information
obtained by the observation of a star throughout the entire night. This
information is found in the file ending in .tbl.

The second method calculates the extinction coefficient for every instant
of the night. The information of airmass and variation in magnitude for all
the identified stars in each image is found in the file ending in .t2.

Using a derivation of the sigma_clipping algorithm from Astropy, sasca_linalg.py

```

excludes the data points which deviates more than a certain number of sigma defined by the user.

The new set of data points is used in a linear least-squares fit to obtain the extinction coefficient.

For the star files, the program obtains the total, first-order and second order (color dependant) extinction coefficient.

Both results (for the individual stars and for each instant in the night) are saved in plots with airmass X magnitude. The value of the extinction coefficient can be seen on each plot.

Parameters:

```
Use with: $ python linear.py /path/to/ImagesDirectory/ /path/to/StarsDirectory/
```

Where /path/to/ImagesDirectory/ is the path where are the images, and /path/to/StarsDirectory/ is the path where are the individual stars files.

Returns:

```
[star name].pdst.tbl.png
```

A plot of Observed magnitude X Airmass of the refered star. The linear least-squares fit is shown, as well as the outliers and errorbars. The value of the total, first order and second order extinction coefficients are indicated.

```
[image].pd.t2.png
```

A plot of (Observed magnitude - magnitude outside the atmosphere) X Airmass of the refered star. The linear least-squares fit is shown, as well as the outliers and errorbars. The value of the total extinction coefficient is indicated.

```
***
```

```
import sys
import glob
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
def sigma_clip1(X, Y, cor, erro, sig, iters=100,
```

```
    maout=False):
    X = np.array(X, copy=False)
    Y = np.array(Y, copy=False)
    Z = np.array(cor, copy=False)
    A = np.array(erro, copy=False)
    X = X.ravel()
    Y = Y.ravel()
    Z = Z.ravel()
    A = A.ravel()
    maskY = np.ones(Y.size, bool)
    if iters is None:
        i = -1
        lastrej = sum(maskY) + 1
        while (sum(maskY) != lastrej):
            h = np.column_stack([X,Z*X,np.ones(len(X))])
            k1, k2, m0 = np.linalg.lstsq(h,Y)[0]
            i += 1
            n = len(Y[maskY])
            lastrej = sum(maskY)
            novoH = np.column_stack([X[maskY],Z[maskY]*X[maskY],np.ones(len(X[maskY]))])
            do = Y[maskY] - np.dot(novoH, [k1,k2,m0])
            maskY = np.abs(do) <= np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
        iters = i + 1
    for i in range(iters):
        h = np.column_stack([X,Z*X,np.ones(len(X))])
        k1, k2, m0 = np.linalg.lstsq(h,Y)[0]
        novoH = np.column_stack([X[maskY],Z[maskY]*X[maskY],np.ones(len(X[maskY]))])
        do = Y[maskY] - np.dot(novoH, [k1,k2,m0])
        n = len(Y[maskY])
        maskY = np.abs(do) <= np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
        error = np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
    return X[maskY], Y[maskY], Z[maskY], A[maskY], error, n
```

```
def sigma_clip2(X, Y, erro, sig, iters=100,
```

```
    maout=False):
    X = np.array(X, copy=False)
    Y = np.array(Y, copy=False)
    erro = np.array(erro, copy=False)
    X = X.ravel()
    Y = Y.ravel()
```

```

erro = erro.ravel()
maskY = np.ones(Y.size, bool)

if iters is None:
    i = -1
    lastrej = sum(maskY) + 1
    while(sum(maskY) != lastrej):
        h = np.column_stack([X,np.ones(len(X))])
        kl, m0 = np.linalg.lstsq(h,Y)[0]
        i += 1
        n = len(Y[maskY])
        lastrej = sum(maskY)
        novoH = np.column_stack([X[maskY],np.ones(len(X[maskY]))])
        do = Y[maskY] - np.dot(novoH, [kl,m0])
        maskY = np.abs(do) <= np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
    iters = i + 1
for i in range(iters):
    h = np.column_stack([X,np.ones(len(X))])
    kl, m0 = np.linalg.lstsq(h,Y)[0]
    novoH = np.column_stack([X[maskY],np.ones(len(X[maskY]))])
    do = Y[maskY] - np.dot(novoH, [kl,m0])
    n = len(Y[maskY])

    maskY = np.abs(do) <= np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
    #error = np.sqrt(sum((do)**2)/n) * sig
    return X[maskY], Y[maskY], erro[maskY]#, error, n

def Fitting(image_path, star_path):

    #Agglutinating files
    DirEstrelas = glob.glob(star_path + ".*tbl")
    DirTempos = glob.glob(image_path + ".*t2")

    sigma = input("How many sigma deviations from best fit do you want to consider
to eliminate outliers in your data? ")
    Niter = input("How many iterations do you want to perform in your data to
eliminate the outliers? ")

    for filel in DirEstrelas:

        airmass_temp , mag_temp , B, R, err_temp = np.genfromtxt(filel, unpack=True,
                                                                    usecols = (0,1,3,4,5),
                                                                    missing_values = ('INDEF', 'nan', 'None'))
        name = np.loadtxt(filel, unpack = True, usecols = [2], dtype = 'string')

        mask = ~ np.isnan(mag_temp)
        airmass = airmass_temp[mask]
        mag = mag_temp[mask]
        B = B[mask]
        R = R[mask]
        err = err_temp[mask]
        mag = mag_temp[mask]
        name = name[mask]

        color = B-R

        if len(airmass) > 3:

            #Based on the sigma clipping algorithm from Astropy
            a, b, c, d, m, n = sigma_clip(airmass, mag, color, err, sig=sigma, iters=Niter,
                                         maout=False)

            #The least-squares linear fit
            hl = np.column_stack([a,c+a,np.ones(len(a))])
            kl, k2, m0 = np.linalg.lstsq(hl,b)[0]
            k = kl + k2*color[0]
            Rl = np.column_stack([airmass,np.ones(len(airmass))])
            testel = np.dot(Rl, [k,m0])
            print filel, k, kl,k2-color[0]

            coef = u"HR %s: k = %3f, k' = %3f, k'' = %3f " %(name[0],k, kl, k2)

            #Configuring and saving the plot
            plt.clf()
            plt.ylim([-1,2.5])
            plt.xlim([0.98,2.5])
            plt.text(1, 2.3 , coef, fontsize=12)
            plt.xlabel("$M_{de}/ar$", fontsize = "20")
            plt.ylabel(u"$M-M_0$", fontsize = "16")
            fig = plt.gcf()
            fig.set_size_inches(12,8)
            plt.plot(airmass, mag, 'ko', label='data')

```

```

plt.errorbar(a, b, yerr=d, fmt='ro')
plt.plot(airmass, teste1, '-k')
#plt.legend(str(mag_cat[0]), title = str(k))
plt.savefig(file1 + '.png', format='png', bbox_inches='tight')

else:
    print "Not enough values to start least-squares"

for file2 in DirTempos:
    airmass_temp, mag_temp, B, R, err_temp = np.genfromtxt(file2, unpack=True,
        usecols = (0,1,2,4,5), missing_values = ('INDEF', 'nan', 'None'))
    mask = ~ np.isnan(err_temp)
    airmass = airmass_temp[mask]
    err = err_temp[mask]
    mag = mag_temp[mask]
    B = B[mask]
    R = R[mask]
    err = err_temp[mask]

    color = B-R

    #Based on the sigma clipping algorithm from Astropy
    e, f, h = sigma_clip2(airmass, mag, err, sig=sigma,
        iters=Niter, maout=False)

    #The least-squares linear fit
    R1 = np.column_stack([airmass,np.ones(len(airmass))])
    new = np.column_stack([e,np.ones(len(e))])
    kim, m0 = np.linalg.lstsq(new,R1)[0]
    print file2, kim

    R2 = np.column_stack([airmass,np.ones(len(airmass))])
    teste2 = np.dot(R2, [kim,m0])
    coef = u"k = %3f" %kim

    #Configuring and saving the plot
    plt.clf()
    plt.ylim([0,2.0])
    plt.xlim([1,2.5])
    plt.text(1.2, 1.8, coef, fontsize=12)
    plt.xlabel("%Massa\de\ar%", fontsize = "20")
    plt.ylabel(u"%M-M_0%", fontsize = "16")
    fig = plt.gcf()
    fig.set_size_inches(12,8)
    plt.plot(airmass,mag, 'ko')
    plt.errorbar(e, f, yerr=h, fmt='ro')
    plt.plot(airmass, teste2, '-r')
    plt.savefig(file2 + '.png', type = 'png')

if __name__ == "__main__":
    Fitting(sys.argv[1],sys.argv[2])

```

APÊNDICE C – Tutorial para uso dos programas AllSky

C.1 INTRODUÇÃO

Com o pacote de programas Allsky é possível obter o coeficiente de extinção atmosférica de duas formas diferentes com o uso de uma câmera de todo céu (a SASCA, SOAR AllSky Camera). A primeira forma é obter o coeficiente com o estudo da variação da magnitude em função da massa de ar para diversas estrelas acompanhadas durante toda a noite. A segunda forma é calcular o coeficiente de forma instantânea, isto é, analisar a diferença entre magnitude observada e a magnitude fora da atmosfera para diversas estrelas em função da massa de ar em um dado instante.

Para poder obter o coeficiente de extinção (de ambas as formas) é necessário calcular os valores magnitude e massa de ar para um certo número de estrelas. Entretanto, é preciso levar em consideração a distorção causada pela lente da câmera de todo céu para identificar corretamente a posição das estrelas nas imagens e, a partir daí, calcular a massa de ar e fazer fotometria.

Todas essas etapas são controladas por um programa mestre, o Allsky.py. Este programa reúne programas pequenos que realizam funções específicas:

skycalc.py - calcula as posições das estrelas no céu em altitude e azimute.

altaz2xy.py - projeta as coordenadas de altitude e azimute para x, y da foto.

geoxy.py - efetua uma transformação de coordenadas ao aplicar a distorção causada pela lente da câmera de todo céu nas coordenadas das estrelas.

phot.py - faz fotometria e obtém magnitude instrumental e erro na magnitude instrumental.

desconvert.py - recalcula a altitude das estrelas com base nas coordenadas x, y distorcidas.

airmass.py - calcula a massa de ar com base na altitude calculada pelo desconvert.py.

instant.py - organiza toda a informação obtida até aqui das estrelas em cada imagem (massa de ar, magnitude, erro de magnitude, nome da estrela) com as respectivas magnitudes fora da atmosfera nos filtro \mathcal{B} e \mathcal{R} .

starlist.py - separa os dados de toda a noite, organizados pelo instant.py, para cada uma das estrelas. Utiliza o programa 'pdstar.py' (descrito adiante) para realizar essa separação.

subtract.py - subtrai as magnitudes de fora da atmosfera das magnitudes instrumentais de cada uma das estrelas, tanto para os dados saídos de instant.py quanto para os dados saídos de starlist.py.

linear.py - calcula o coeficiente de extinção atmosférica dos dois

métodos indicados anteriormente. Salva gráficos com as melhores retas e indica o valor do coeficiente de extinção para cada um.

Além desses, há um programa adicional, o 'pdstar.py'. Este programa é uma classe composta por pequenos módulos que selecionam os valores corretos para a devida separação realizada pelo 'starlist.py'.

Juntamente desses programas estão presentes os arquivos 'data3', 'geo3', 'res3', 'BSC', e 'MagZero'. 'data3', 'geo3', 'res3' contém informações para transformação de coordenadas. *BSC* é o *Bright Star Catalog*. *MagZero* é o arquivo com magnitudes fora da atmosfera obtidos para as estrelas com $\text{mag } V < 3$ para os filtros utilizados pela SASCA.

C.2 PRÉ-USO

Para que o Allsky.py funcione corretamente, é necessário que o usuário tenha instalado em seu computador os seguintes pacotes:

Pyraf (v. 2.13) - Permite a utilização dos pacotes do IRAF dentro do ambiente Python. Obtido através do site:

http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyraf

PyFits (v. 1.3) - Pacote para manipulação de imagens com formato .fits. Pode ser obtido pelo site:

http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyfits

PyEphem (v 3.7.3.4) - Pacote (Ephem) para cálculo de efemérides dentro do ambiente Python. Pode ser obtido pelo site:

<http://rhodesmill.org/pyephem/>

numpy (v. 1.8.0) - Pacote de computação científica para Python. Pode ser obtido em: <http://www.numpy.org/>

matplotlib (v. 1.2.1) - Biblioteca para desenvolvimento de gráficos e histogramas. Pode ser obtido em: <http://matplotlib.org/>

pandas (v. 0.13.1) - Biblioteca para gerenciamento de bases de dados. Pode ser obtido em: <http://pandas.pydata.org/>

Dentro do diretório onde estão os arquivos dos programas Allsky devem estar uma cópia do arquivo *login.cl* produzido pelo Pyraf e as bases de dados

Você também deve criar dois diretórios principais. O primeiro deverá ser a pasta onde ficam as imagens. O segundo é onde serão criados os arquivos individuais para cada estrela.

Dentro do diretório das imagens (chamado de 'ImageFiles' daqui por diante) também devem estar os arquivos 'data3', 'geo3' e 'res3', que são os arquivos utilizados pelo geoxy.py para realizar a transformação de coordenadas.

Após essas etapas o programa `allsky.py` pode ser iniciado.

C.3 UTILIZANDO ALLSKY.PY

Para iniciar o `allsky.py` abra o Terminal e digite o comando:

```
$ python /path/to/allsky.py
```

O `allsky.py` chamará os diversos programas na ordem correta. Para o devido funcionamento, o `allsky.py` solicitará ao usuário que entre com algumas informações necessárias.

As primeiras perguntas são referentes aos diretórios das imagens e dos arquivos individuais das estrelas. O usuário deverá responder com o caminho completo até o diretório, como por exemplo `"/home/user/AllSky/ImageFiles/"` e `"/home/user/AllSky/StarFiles/"`, sem as aspas (mas com as barras!).

Em seguida o usuário será perguntado qual o limite na magnitude V das estrelas com as quais quer trabalhar. O usuário deve fornecer um valor entre 2 e 3, para que o programa tenha um resultado satisfatório. Importante salientar que selecionar apenas estrelas mais brilhantes que 2 resultaria em um número muito pequeno de estrelas, tornando o cálculo instantâneo do coeficiente de extinção mais propenso a erros.

O `allsky` seguirá chamando e iniciando os programas necessários. O programa `phot.py` é particularmente demorado caso existam muitas imagens, pois ele fará a fotometria de todas as estrelas identificadas para cada uma das imagens.

Antes de subtrair as magnitudes fora da atmosfera para cada uma das estrelas no programa `"subtract.py"` o usuário deverá informar qual filtro está sendo utilizado nas imagens, se azul (\mathcal{B}) ou vermelho (\mathcal{R}). Responda à pergunta com `"B"` ou `"R"`, sem as aspas.

Para finalmente calcular o coeficiente de extinção atmosférica no programa `linear.py` o usuário deve fornecer dados para o algoritmo de sigma clipping. Este algoritmo realiza o descarte de pontos que estão acima ou abaixo de um certo sigma (standard deviation) da melhor reta. Esses pontos são chamados de outliers. Recomenda-se utilizar valores entre 1.5 e 3. O usuário também deve indicar quantas iterações devem ser feitas para descartar os outliers da amostra. O sigma clipping já atinge o resultado esperado dentro de poucas iterações (< 10). Entretanto, é recomendado colocar um valor maior para efeito de segurança, sem perda de eficiência (não serão eliminados mais

pontos do que o necessário).

Depois disso, basta aguardar. No terminal serão mostrados os valores do coeficiente de extinção atmosférica total, de primeira ordem e de primeira ordem para cada uma das estrelas identificadas e, logo depois, o valor do coeficiente de extinção atmosférica total obtido para cada uma das imagens.

Para cada estrela será salvo um gráfico com os valores do coeficiente. O mesmo será feito para cada uma das imagens.

C.4 COMENTÁRIOS

Os programas utilizados por `allsky.py` também podem ser utilizados individualmente caso o usuário não tenha interesse em refazer algumas etapas. Para isso é necessário que o usuário inicie o programa indicando, como parâmetros, os diretórios em que estão as imagens e os arquivos de estrelas individuais.

Assim, para iniciar o programa `'starlist.py'`, por exemplo, o usuário deverá colocar o seguinte comando no Terminal:

```
$ python starlist.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
/home/user/AllSky/StarFiles/
```

O programa `starlist.py` necessita da indicação dos dois diretórios para funcionar propriamente.

Para rodar o programa `'altaz2xy.py'` basta indicar apenas o diretório das imagens:

```
$ python altaz2xy.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

Segue a lista com indicações de como rodar cada programa individualmente:

```
skycalc.py: $ python skycalc.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
altaz2xy.py: $ python altaz2xy.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
geoxy.py: $ python geoxy.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
phot.py: $ python phot.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
desconvert.py: $ python desconvert.py
```

```
/home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
airmass.py: $ python airmass.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
instant.py: $ python altaz2xy.py /home/user/AllSky/ImageFiles/
```

```
starlist.py: $ python starlist.py /home/user/AllSky/ImageFiles/  
/home/user/AllSky/StarFiles/
```

```
subtract.py: $ python starlist.py /home/user/AllSky/ImageFiles/  
/home/user/AllSky/StarFiles/
```

```
linear.py: $ python starlist.py /home/user/AllSky/ImageFiles/  
/home/user/AllSky/StarFiles/
```

Para maiores informações sobre cada código, favor verificar a página de ajuda para cada um desses programas. Isso pode ser feito no Terminal utilizando os seguintes comandos:

```
$ python $ help(nome_do_programa)
```

C.5 CONTATO

Quaisquer dúvidas, comentários, sugestões ou reclamações podem ser enviadas a Germano S. Bortolotto através do email gerbortolotto@gmail.com.