

COEFICIENTE DE EXTINÇÃO FOTOMÉTRICOS PARA O CÉU DO RIO DE JANEIRO

Getúlio J. Vilar*
 Jorge de A. Vieira*
 José A. Buarque*

ABSTRACT

Coefficients for atmospheric extinction using B and V Johnson filters were obtained and our results indicate the possibility of determining particle densities in suspension in the atmosphere over the city of Rio de Janeiro. Preliminary data, referred in the present study, are favourably compared to densities of both aerosols in conditions of slight haze, and tropospheric dust in clear conditions. Extinction coefficients are comparable to the ones determined by Chabot Observatory in the San Francisco bay area, here taken as a comparison term due to the similarities between both cities.

INTRODUÇÃO

O sucesso da aplicação da fotometria astronômica na determinação de densidades de partículas em suspensão na atmosfera terrestre, tem levado alguns observatórios à realização de estudos eventuais no campo da poluição aérea.

Uns poucos observatórios, por se localizarem nas vizinhanças de grandes centros urbanos, desenvolvem esforços sistemáticos nessa área. Em particular, equipes do Observatório de Chabot, situado na região da baía de San Francisco, tem formulado modelos de atmosferas urbanas que incluem contribuições estratosféricas, troposféricas e regionais do espalhamento Rayleigh, ozônio, óxidos de nitrogênio, partículas e aerossóis (Galloway, 1975).

A similaridade de condições entre aquele observatório e o Observatório do Valongo levou à formulação de um projeto de sondagem ótica da atmosfera do Rio de Janeiro. O presente artigo contém a descrição da parte astronômica (extinção astronômica) desse projeto.

* Observatório do Valongo, UFRJ - Ladeira Pedro Antonio, nº 43 - CEP. 20.080 - Rio de Janeiro-RJ.

MÉTODO DE REDUÇÃO DAS OBSERVAÇÕES

As medidas da extinção astronômica envolveram um telescópio refrato-refletor Coudé de 15 cm de diâmetro (f/15), um fotômetro 2401 e um acoplador de telescópio 401, ambos da Pacific Photometric Instruments, células fotoelétricas RCA 1P21 e 1P28, um registrador gráfico RB01 da Equipamentos Científicos do Brasil; e, um frequencímetro 5245M da HP, convertido a voltímetro por meio de componentes desenvolvidas neste Observatório por Wilson J.P. Mendonça, e uma impressora 5050B.

As observações envolveram apenas as estrelas padrão de Johnson (Johnson e Morgan, 1953) e as bandas B e V.

Dado que operamos apenas um canal, na maioria dos casos a sequência observacional foi: estrela em V, fundo do céu em V e B, estrela em B.

Denominamos observação simples (S) a qualquer uma das observações indicadas na sequência anterior (ou de suas variantes): observação parcial (P) o conjunto de quatro S consecutivas, e, finalmente, observação completa (C) a toda uma série de P.

Nas C realizadas tanto com auxílio do registrador gráfico como da impressora, cada S é constituída por um conjunto de valores $M_{in} | i=1,2,\dots,I$, onde cada M_{in} indica a deflexão do fotômetro e o índice n referencia a P a que uma dada S faz parte.

A cada P associamos um instante da observação, tomado como sendo a média entre os instantes iniciais e finais desta P. Esse processo de integração não é, dentro de certos limites, muito crítico (Young, 1968). A restrição óbvia é a de que o intervalo de tempo de cada P não seja longo o suficiente para que as condições de extinção não variem apreciavelmente ao longo da observação. Ainda com referência a essa questão, notamos que utilizamos o método de Bouguer, e este pressupõe a estratificação da atmosfera em planos paralelos. Uma vez que desconhecemos, nas condições locais, os intervalos em zenitais que permitem validar o modelo, problemas com o envolvido na expressão "longo o suficiente" tiveram que ser decididos a partir das observações.

Com as convenções anteriores, a cada S associamos uma deflexão média (aritmética) M_n , um correspondente desvio padrão S_n e um instante t_n . Cada M_n foi transformada em magnitude instrumental através da relação

$$M_n(\Delta\lambda) = -2,5 \log_{10} M_n(\Delta\lambda) - 2,5 \log_{10} E_n + 7,5 \quad (1)$$

onde E_n indica o valor da escala correspondente ao M_n medido e a constante 7,5 fixa o zero arbitrário da escala de magnitudes experimentais.

Se

$$e_n = s_n I^{-1/2}$$

representa o erro padrão de M_n , então, da equação (1) decorre um erro ϵ_n na magnitude instrumental dado, em valor absoluto, por

$$\epsilon_n = 2,5 \log_{10} (1 + s_n I^{-1/2} M_n^{-1} (\Delta\lambda))$$

Para os filtros B e V adotaremos, respectivamente, as convenções:

$$m_n(B) = B_n, \quad m_n(V) = V_n, \quad \epsilon_n(B) = b_n, \quad \epsilon_n(V) = v_n$$

Assim, se C é o conjunto

$$C = (B_n \pm b_n, V_n \pm v_n) \mid n=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

as magnitudes B_0 e V_0 , corrigidas dos efeitos atmosféricos, bem como os coeficientes de extinção k_B e k_V , serão dados pelas regressões lineares sobre os pontos B_n e V_n do conjunto (2), respectivamente. As fórmulas utilizadas foram as convencionais da estatística e não serão apresentadas (Hoel, 1971).

Os erros em k e m_0 , para qualquer intervalo espectral, foram obtidos por variações das respectivas fórmulas pelas quantidades b_n e v_n .

ANÁLISE DE ERROS

As observações utilizadas neste trabalho foram realizadas entre 1977 e 1979 e estão sumarizadas na Tabela 1.

No exame da precisão das observações, diversas decisões tiveram que ser tomadas e estão explicitadas no que se segue.

a) Se TSL_0 e TSL_f indicam, respectivamente, os instantes siderais inicial e final de cada P (ou de cada S), qual o efeito de erros nesses instantes sobre os resultados da correspondente C?

A partir de sequências de erros reais identificados ao longo do processo de redução dos dados, foram montadas sequências de valores que foram aplicados seja a algum dos instantes siderais, seja a todo o conjunto de tais instantes de uma dada C.

Como conclusão, nas referidas condições operacionais, erros em até a ordem de 3 segundos nos instantes siderais de qualquer P, ou do conjunto delas, não afetam os parâmetros da reta de Bouguer substancialmente: da ordem de 0,01% em m_0 e 0,1% em k .

b) Se devemos otimizar o processo de redução das observações (leitura de fitas, por exemplo, mais processamento de dados em presença de recursos financeiros limitados) qual deve ser a dimen-

são de I , de forma a obter resultados que não se afastem muito dos valores de convergência previstos pelo teorema do limite central, digamos, por valores não maiores do que erros experimentais aceitáveis?

Como limite inferior tomamos, arbitrariamente, $I = 10$ e a fim de determinar o valor ideal, procedemos ao ensaio que se segue.

Para a estrela 11 da Tabela 1, consideramos as variáveis k_b , B_o , k_v , V_o , $B_o - V_o$ e os coeficientes de determinação
..... r_B^2 ; r_V^2 e r_{VV}^2 , sendo este último calculado a partir de uma regressão linear entre os erros v_n e as próprias magnitudes V_n e desempenhando o papel de uma estatística de controle.

Para a estrela em questão, tínhamos a disposição 13 conjuntos de P , e em cada um deles fizemos I variar, sequencialmente, de 10 a 20. Resultou:

i) r_B^2 e r_V^2 se mantiveram virtualmente constantes para todo I , e iguais, respectivamente, a 0,87 e 0,86;

ii) as demais grandezas, exceto k_v , mostraram flutuações nítidas para I entre 10 e 15, estabilizando-se a partir de 16, no interior da faixa dos correspondentes erros;

iii) k_v seguiu o comportamento indicado em (ii), mas apresentou um salto em $I = 13$. Um exame do registro gráfico revelou que esta descontinuidade teria sido o reflexo de algumas oscilações das condições do céu na décima terceira P , no filtro V . Esta P excluída, a conclusão anterior se manteve também para k_v .

O ensaio anterior foi repetido para a estrela de número 23 (Tabela 1), observada a quase um ano e meio antes da 11 e em diferentes condições climáticas. Novamente, $I = 16$ resultou no valor mais indicado.

c) Pelas razões expostas no item (b) e, em acréscimo, devido à necessidade de se determinar intervalos de tempo (ou massas de ar) que permitissem, mantendo em níveis altos os coeficientes de determinação das retas de Bouguer, a fixação das mais corretas propriedades da extinção em cada C , qual deve ser a dimensão de N ?

Em princípio, se respeitado os domínios das retas de Bouguer, quanto maior N tanto melhor a regressão. Entretanto, um N excessivamente alto é econômica e operacionalmente inviável, ao passo que um N muito baixo é estatisticamente desaconselhável. Mais ainda, P muito próximas em distâncias zenitais podem refletir efeitos sistemáticos devidos, por exemplo, à variações no índice de refração do ar em células de convecção; se muito distantes, poderiam não ponderar corretamente os coeficientes de extinção de toda C .

Na ausência de dados explícitos sobre essas questões, recorreremos novamente a ensaios numéricos com as mesmas estrelas indicadas anteriormente.

Para HR 875 consideramos como ponto de partida o conjunto formado pela C com as 13 P originais. A seguir, montamos os subconjuntos formados pelos seguintes intervalos de n:

2,3,...,13 2,3,...,12 3,4,...,12 3,4,...,11, ..., 5,6,...,10.

Em cada um desses subconjuntos permitimos que I percorresse os valores 10,11,...,20, sequencialmente. Finalmente, e com a mesma restrição sobre I, tomamos os subconjuntos em que $n=2,4,\dots,12$ e em que $n=1,3,\dots,13$ (para simplificar, denominadas de sequências par e ímpar, respectivamente).

Denominamos os conjuntos indicados acima, com a ordem em que foram apresentados invertida, por HR_p , $p=1,2,3,\dots,10$. Assim, HR_1 indica o subconjunto em que n assume valores ímpares e etc.

A Figura 1 apresenta, para cada HR_p e para os pontos obtidos por variações de I, as curvas de comportamento de r_B^2 e r_V^2 . Como se pode verificar, para ambos os coeficientes de determinação, o subconjunto em que n assume os valores ímpares apresenta valores máximos.

Podemos excluir preliminarmente a sugestão de que HR_1 apresenta melhores resultados do que HR_2 devido ao seu maior número de P, pois que HR_1 e HR_2 contêm, respectivamente, 6 e 7 observações parciais e esta diferença não é significativa.

Como fator não estatístico, HR_1 e HR_2 apresentam, em média, P consecutivas separadas por cerca de 1/2 hora. Contudo, é maior o intervalo em zenitais no primeiro caso do que no segundo: -26° , -64° para HR_1 , contra -28° , -60° .

As hipóteses implícitas no parágrafo anterior (importância do intervalo de tempo entre P consecutivas simultaneamente com o intervalo em zenital) foram testadas com a observação completa de tau Vir.

O conjunto base, agora representado por VIR_{10} , foi definido como anteriormente, porém tomamos apenas os subconjuntos VIR_p , $p=1,2,4,6$ e 8 . Como antes, VIR_1 e VIR_2 representam, respectivamente, as sequências em que n assume apenas valores ímpares e pares. As correspondentes curvas para r_B^2 e r_V^2 estão na Figura 2.

Nesse último caso, o subconjunto ótimo resultou VIR_2 , sendo que tanto este como VIR_1 contêm P separadas em média por 1/2 hora e varrendo aproximadamente o mesmo intervalo em zenitais.

Apenas os coeficientes de determinação, portanto, não foram capazes de permitir uma decisão sobre N, mas levaram a ratifi-

car o valor $I = 16$, bem como o espaçamento médio de 1/2 hora entre observações parciais. Na análise que se segue, apenas $I = 16$ será considerado.

A próxima grandeza a ser examinada é o coeficiente de extinção. Para as duas estrelas em exame, a Tabela 2 contém os resultados obtidos.

A simples inspeção da tabela acima mostra que a sequência de P com n ímpares, se não apresentam, nos dois casos, maiores r^2 , certamente minimizam os erros. Mais ainda, os valores de k para HR 875 são da ordem de grandeza do dobro dos correspondentes valores para tau Vir. O que pode explicar este fato?

Uma consulta ao livro de registro de observações (virualmente em diário de trabalho) nos informa que em 11/10/77 a observação foi realizada sob ligeira névoa, enquanto que o pressuposto para o dia 06/02/79 é de céu claro. A diferença entre as extinções fica, então, justificada.

É necessário observar, entretanto, que no Rio de Janeiro, nos meses de verão, a névoa é costumeiramente seca (haze). Uma ligeira névoa seca (código internacional de visibilidade 6) apresenta aerossóis como principais difusores da luz e com uma escala de altura da ordem de 1 km (Mac-Cartney, 1976, p. 156, Table 3.3). Com este valor, temos $k_V \text{ km}^{-1} = k_V (\text{massa de ar})^{-1}$, e então, os valores da Tabela 2 se situam no interior do domínio de k_V (entre 0,954 e 0,391). Além disso, seus menores erros, relativamente a tau Vir, provavelmente decorrem das características dessa névoa: frequentemente cinza (para observadores externos) e acompanhada de pouco movimentação do ar, o que atenuaria o ruído de fundo.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As considerações envolvidas na secção anterior foram aplicadas aos dados da Tabela 1 e, em consequência, resultou o conjunto otimizado de resultados experimentais, sumarizados na Tabela 3.

Repetindo a análise levada a efeito com as estrelas HR 875 e tau Vir, verificamos que são conclusões gerais os seguintes pontos:

- 1) $I = 16$ é o valor mais indicado para as condições locais;
- 2) o espaçamento entre observações parciais deve ser de aproximadamente 1/2 hora em tempo sideral;
- 3) existem sequências que otimizam as regressões lineares.

Entretanto, mesmo para a amostra ampliada (dados da Tabela 1), não foi possível decidir sobre:

- a) o valor ótimo de N;
- b) um critério que permita decisões entre as sequências em que n assume valores pares ou ímpares.

Finalmente, observamos que erros decorrentes da não refrigeração das células não puderam ser estimados, mas ensaios em laboratórios nos levam a acreditar que o desempenho do sistema seria melhorado com a refrigeração, sem alterar as conclusões anteriores.

CONCLUSÕES

Este projeto, pelo que ficou evidenciado nas seções anteriores, viabiliza a pesquisa de densidades atmosféricas através da medida da extinção astronômica dentro das condições locais. Sua implementação fica, entretanto, na dependência da montagem de um sistema fotométrico de banda estreita, cobrindo o visível com um número razoável de filtros.

Por outro lado, sabe-se que a presença de névoa, mesmo em pequenas quantidades, previne a detecção de poluentes atmosféricos por sondagens óticas. Dessa forma, a justificativa para investimentos em sistemas multifiltros deveria também passar por uma estimativa do número de noites úteis para esse tipo de trabalho. Infelizmente, porém, a necessidade de remover o equipamento para a estação de montanha, em Campinas, SP, em fase de instalação, interrompeu, por prazo indeterminado, os trabalhos.

Fig. 1. r_V^2 e r_B^2 como função das variações de P e J. Veja texto para maiores detalhes.

Fig. 2. O mesmo que a fig. 1.

REFERENCIAS

- Galloway, T.R..... 1975 UCRL-51898, Lawrence Livermore
Laboratory, University of Cali-
fornia, Livermore.
- Hoel, P.G..... 1971 *Introduction to Mathematical
Statistics*, John Wiley, New York.
- Johnson, H.L. and Morgan, W.W... 1953 *Ap.J.*, 117, 313.
- McCartney, E.J..... 1976 *Optics of the Atmosphere*, John
Wiley, New York.
- Young, A.T..... 1968 *The Observatory*, 88, 151.

Tabela 1. Estrelas consideradas no teste de viabilidade. Repetições de datas (dia, mês ou ano) foram evitadas.

N	Estrela	Data	N	Estrela	Data
1	85 Peg	26/09/79	15	γ Psc	09/10/78
2	τ Cet	25	16	η Ser	26/09
3	85 Peg	21	17	γ Psc	23
4	ρ Peg	28/08	18	η Ser	20
5	99 Her	21/07	19	α Ari	29/08
6	110 Her	17	20	γ Psc	11
7	72 Her	13	21	γ Psc	26/07
8	β Com	29/06	22	ξ Ser	15/06
9	ε CrB	22	22A	ξ Ser	
10	ε CrB		23	HR 875	10/11/77
11	τ Vir	20	24	γ Psc	09
12	72 Her	31/05	25	HR 875	01
13	α Ser	28	26	γ Psc	26/10
14	γ Psc	23/10/78	27	γ Psc	24
			28	γ Psc	29/09

Tabela 2. Coeficientes de extinção.

	K_B	K_V
HR ₁	0.792(0.023)*	0.525(0.029)
HR ₂	0.911(0.030)	0.621(0.046)
VIR ₁	0.489(0.045)	0.250(0.056)
VIR ₂	0.492(0.075)	0.316(0,064)

*Valores entre parênteses são os erros estatísticos das medidas.

Tabela 3. Estrelas na tabela 1 para as quais r_V^2 e r_B^2 são maiores que 0,8; p e i são respectivamente sequencias pares e impares.

N	K_B	K_B
2^p	1.225 (0.116)	0.824 (0.062)
2^i	1.460 (0.083)	1.018 (0.064)
3^p	0.741 (0.117)	0.497 (0.241)
3^i	0.512 (0.094)	0.476 (0.179)
4^p	0.387 (0.081)	0.243 (0.082)
4^i	0.274 (0.063)	0.246 (0.060)
6^p	0.761 (0.052)	0.495 (0.051)
6^i	0.746 (0.047)	0.510 (0.048)
11^p	0.909 (0.026)	0.620 (0.039)
11^i	0.797 (0.022)	0.531 (0.027)
13^p	0.470 (0.088)	0.288 (0.062)
21^p	0.432 (0.178)	0.212 (0.108)
21^i	0.429 (0.124)	0.337 (0.084)
23^p	0.494 (0.043)	0.253 (0.054)
23^i	0.431 (0.044)	0.266 (0.045)

FIG. 1
HR 875

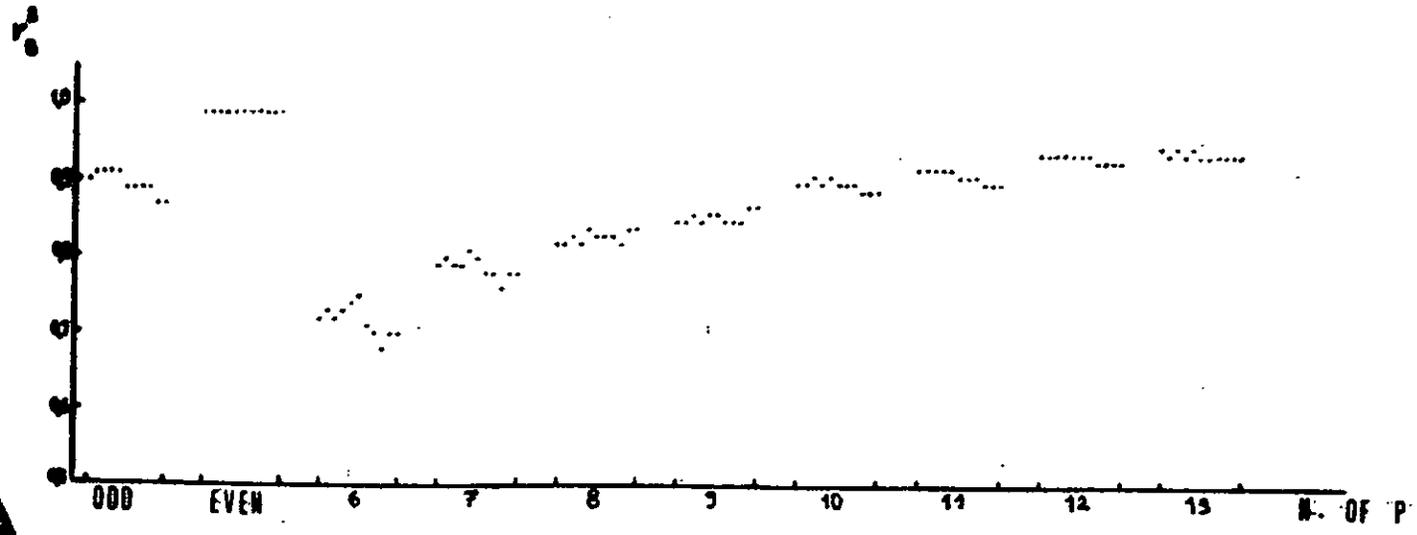
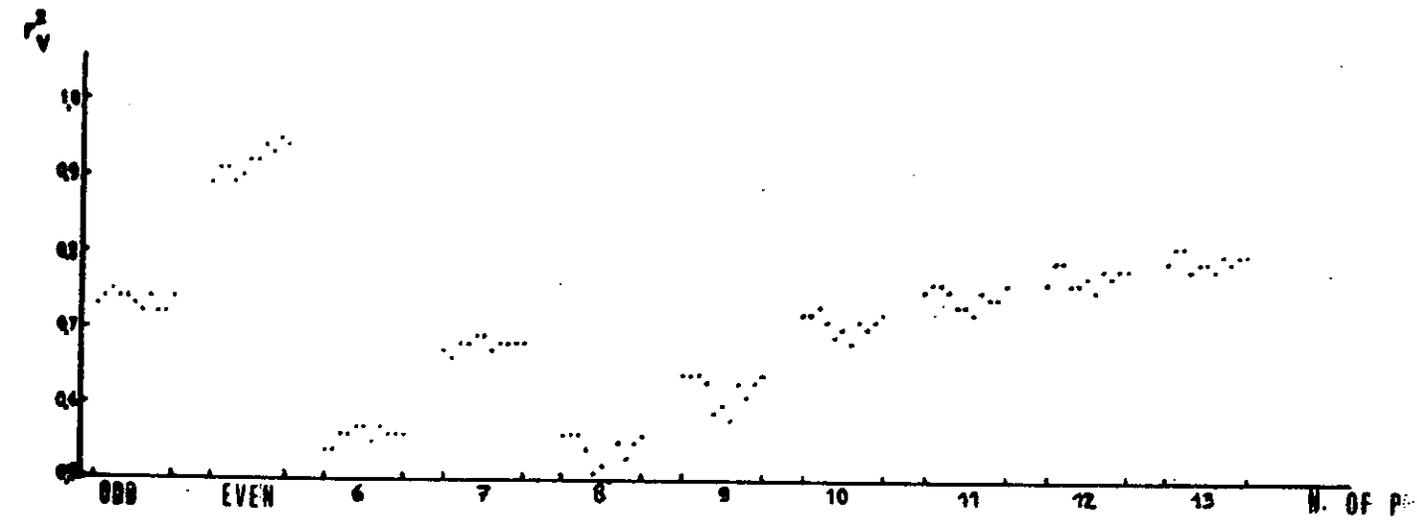


FIG. 2 ζ VIR

