

Eclipse Lunar Parcial de 24-25 de Maio de 1994

Helio C. Vital (REA/Brasil-RJ)

Abstract.

In the evening of may 24-25, 1994, the southern region of the moon crossed the extreme north of the Earth's shadow. The observation of this phenomenon, as proposed in REA's Observational Project 194/94, was very worthwhile, despite the small magnitude of this eclipse (0.25).

1. Introdução.

Na Noite de 24-25 de maio de 1994, o extremo sul da Lua atravessou o extremo norte da umbra terrestre, constituindo-se numa tela de alta sensibilidade onde se projetaram esparsos raios solares, refratados pela atmosfera terrestre para o interior do cone de sombra. A observação do fenômeno, previamente proposta no Projeto Observacional 194/94 da Rede de Astronomia Observacional (REA)¹, mostrou-se muito informativa, apesar da pequena magnitude do eclipse (0.25).

2. Observações.

2.1. Cronometragens.

Embora somente duas grandes crateras (Tycho e Campanus) tenham imergido na umbra, trinta e sete cronometragens², realizadas por 16 observadores (incluindo cronometristas) (Tabela I), foram selecionadas pelo autor.

A todos os observadores, o autor agradece pela colaboração.

Tabela 1 - Observadores.

André Luis de Lima (ALL)
Antonio Carlos Garcia Junior (AGJ)
& Adilson José Cruzeiro
Avelino Alcebíades Alves (AAA)
Frederico Luiz Funari (FLF)
Luiz Fernando Guerreiro Zibordi (LGZ)
Raul Salvo (RS)
Angelo Correa Ribeiro (ACR)
& Marco J. Faria Godinho

Antonio Rosa Campos (ARC)
& João Batista França Nunes
Francisco Saulo Bezerra de Arruda (FBA)
Helio de Carvalho Vital (HCV)
Marcos Jeronimo Roque Barreto (MRB)
& Boisbaudran O. Imperiano
Renato Levai (RL)

Os instantes cronometrados para os contatos da umbra com o limbo lunar ou com os centros das duas crateras estão listados na tabela 2 em Tempo Universal Coordenado (TUC). Verificou-se que algumas cronometragens, não selecionadas por estarem fora do intervalo estatístico de aceitação, correspondiam a valores excessivamente elevados para o raio da umbra. É provável que essa discrepância tenha se originado de um julgamento errôneo, onde a região mais escura da penumbra, adjacente à umbra, foi confundida com a fronteira da umbra.

2.2 Características da Penumbra.

Dois observadores relataram que perceberam a penumbra pela primeira vez 55 (AGJ) e 43 (ALL) minutos antes do início da fase umbral (U1). Vinte e oito minutos antes de U1, HCV descreveu-a como "facilmente perceptível, como um obscurecimento do limbo sudeste lunar próximo ao Mare Humorum". Com relação às colorações das regiões lunares na penumbra, foram observados leves traços de tons amarelados (AGJ), alaranjados (ALL), avermelhados (no Norte) e azulados (no Sul) (LGZ). Segundo ALL, "o obscurecimento penumbral aumentou o contraste de algumas crateras principalmente na região onde se encontram a Cratera Aristarchus e o Vale Schroeter, a qual apresentou-se levemente alaranjada".

FLF informou que observou o "Val Brasiliensis" às 3:07 TU, usando um Refletor Newtoniano de 165mm, com aumento de 66x e que esse mostrou-se com aspecto de uma sucessão de crateras.

2.3. Características da Umbra.

Classificada como "muito escura" por todos os observadores que a descreveram, a umbra

Tabela 2 - Cronometragens dos Contatos

Observador	Início Eclipse Umbral - TUC-2h	Imersão Tycho TUC-2h	Imersão Campanus TUC-3h	Emersão Campanus TUC-3h	Emersão Tycho TUC-3h	Fim Eclipse Umbral TUC-4h
AAA	38	59,5	---	---	57,6	---
ALL	37,65	58,28	---	---	56,8	---
ACR	----	58,88	13,25	27,52	55,67	22,6
AGJ	38,38	---	13,38	26,52	56,07	22,07
ARC	---	59,48	---	---	---	---
FBA	---	59,67	---	---	55,53	---
FLF	---	58,8	15,65	---	56,97	---
HCV	37,4	59,13	12	26,67	56,03	22,2
LGZ	---	58,47	---	---	57,1	---
MRB	---	58,67	---	---	58,05	---
RL	38	---	---	---	58	23
RS	37,75	---	---	---	---	23,42
MÉDIA	37:52±08	58:59±10	13:34±46	26:49±13	56:47±18	22:39±15

apresentou-se praticamente opaca, quase incolor e com uma fronteira muito bem definida. A seguir, listamos alguns dos relatos mais informativos sobre suas características.

"Foram observadas algumas irregularidades junto à umbra, cor de enxofre, as quais contudo, não tiraram a nitidez de linha umbral, que neste eclipse ficou mais evidenciada do que nos eclipses que ocorreram de 1989 para cá" (AGJ).

"Umbra muito escura, quase opaca, impedindo a percepção de quaisquer detalhes das regiões obscurecidas do disco ao telescópio. Somente o limbo eclipsado pode ser notado, mesmo assim, incompleto e com dificuldade. Apenas dois minutos depois de sua imersão, Tycho já estava completamente invisível ao meu refrator de 60 mm (40x). A borda da umbra apresentou-se nitidamente delineada durante contatos com crateras, embora difusa nos contatos de limbo. Além disso, observei que a umbra apresentou-se um pouco mais escura na fase inicial do que na final do eclipse" (HCV).

"Terminador bem definido. Região eclipsada bastante escura, não sendo possível observar nenhum detalhe, nem tampouco a borda da lua" (AAA).

"Durante todo o eclipse, o limbo lunar esteve perfeitamente discernível. Porém, nenhum detalhe pode ser observado ao interior da umbra, com exceção de partes dos contornos dos Mares Nubium e Humorum. A umbra apresentou uma coloração azulada durante quase todo o eclipse, mais escura, tendendo ao cinza, próximo ao meio do eclipse e mais intensa no final" (ALL).

"No meio do eclipse, a umbra adquiriu

uma coloração avermelhada. A região oculta apresentou-se bem escura, quase não permitindo distinguir-se a borda do disco. Foi também muito difícil distinguir-se a área encoberta do Mare Humorum" (LGZ).

2.4. TLP's.

Não houve registros de TLP's.

3. Análises.

3.1. Transparência e Luminosidade da Umbra.

Sem dúvida, se o eclipse de 25 de maio de 1994 tivesse sido total, teria sido muito mais escuro, mas provavelmente não tão escuro quanto os dois eclipses lunares de 1992. Embora, a estimativa do Número de Danjon (L) só se aplique, rigorosamente falando, a eclipses totais, achamos que ela também é válida como um indicador grosseiro da luminosidade da umbra, mesmo em eclipses de pequena magnitude como esse. O grau de transparência da umbra seria, nesse caso, o indicador mais confiável para a avaliação de L .

Sete observadores fizeram estimativas para L . A média, igual a $\langle L \rangle = 0.7 \pm 0.3$, indica um eclipse muito escuro. Como trata-se de uma extrapolação grosseira, e como existe uma tendência de subestimarmos L em eclipses lunares parciais, achamos mais adequada a aproximação $\langle L \rangle = 1$ (correspondente a um eclipse pobre em cores e com poucos detalhes observáveis nas regiões eclipsadas). De posse de L , podemos facilmente

extrapolar a magnitude aproximada da Lua (m) para o caso de um eclipse total, e dela deduzir também o fator de densidade ótica da umbra. A equação [1]³ dá-nos m se conhecemos L .

$$m = 3,99 - 3,13 \cdot L + 0,364 \cdot L^2 \quad [1]$$

Dessa forma, para $L = 1$ temos $m = 1,2$. Finalmente, de posse de m , podemos calcular a densidade ótica (D) do extremo norte da umbra, durante o eclipse, usando a própria definição de D ⁴:

$$D = \Delta m / 2,5 = (1,2 + 12,7) / 2,5 = 5,6 \quad [2]$$

Esse valor de D , muito elevado, indica que a umbra mostrou-se muito menos luminosa do que prevê o modelo de Rayleigh, baseado numa atmosfera ideal, para esse eclipse⁴.

Curiosamente, durante o eclipse de 29 de novembro de 1993, havíamos notado a existência de um fino crescente, bastante luminoso ($L = 4$) na região sudeste mais externa da umbra⁵. Num intenso contraste, a região mais externa da umbra (norte) apresentou-se muito escura durante o eclipse de 25/5/94.

3.2. Ampliação e Achatamento da Umbra.

O fator de ampliação da umbra equivale à razão entre a distância observada da cratera ao centro da umbra e o raio calculado para a umbra, no instante do contato. Essa discrepância deve-se à região anular mais externa da sombra terrestre, produzida exclusivamente por nossa atmosfera, e tem valor médio relativo próximo a 2%, variando contudo, de eclipse para eclipse.

Existem alguns modelos para cálculo da forma da umbra, derivados para o sistema Sol, Terra, Lua, a partir de considerações puramente geométricas. Os mais sofisticados, como os de Solsby e de Meeus, levam em conta o achatamento da Terra, além do fato

de que as crateras estão mais próximas da Terra do que o plano fundamental que bissecta a Lua. Além disso, fornecem o raio da umbra em função do ângulo entre a cratera e a direção Leste-Oeste (denominado Ângulo Umbral Ψ). O modelo de Meeus difere apenas levemente do de Solsby, e leva em consideração uma pequena correção adicional associada à declinação do Sol⁶.

A tabela 3 mostra os parâmetros de interesse, calculados a partir dos tempos médios cronometrados dos contatos em Tempo Universal Coordenado. Os demais parâmetros correspondem a:

r_o : raio observado da umbra (raio equatorial da Terra = 1),

r_c : raio calculado da umbra,

$f_M(298)$, $f_M(221)$, $f_S(298)$: correspondem aos fatores de ampliação da umbra de acordo com os modelos de Meeus para achatamento de 1/298 e 1/221 e de Solsby para 1/298, respectivamente,

f_x : fator de ampliação do raio terrestre aparente (ou da paralaxe lunar), necessário para produzir o raio observado da umbra, calculado pelo modelo de Meeus e usando o valor de 1/298 para o achatamento da Terra.

Observa-se da tabela 3 que, como esperado, os modelos de Meeus e Solsby fornecem resultados muito próximos. Nota-se também que o uso do valor previsto por Meeus para o achatamento da umbra durante o eclipse (1/221.2), 35% maior do que o da Terra, implica num aumento de aproximadamente 7% no fator f de ampliação da umbra.

A tabela 4 lista os valores para o fator f de ampliação da umbra, calculados pelo autor a partir das cronometragens selecionadas de cada observador e usando-se para a umbra o mesmo valor do achatamento da Terra (1/298.26).

O valor médio obtido para o fator de

Tabela 3 - Parâmetros Relevantes Associados aos Tempos Médios dos Contatos

Contato	TUC	r_o	r_c	Ψ	$f_M(298)$	$f_M(221)$	$f_S(298)$	F_x
Início Eclipse	02:37:52	0,7538	0,7407	65,87	1,77	1,89	1,74	1,31
Imersão Tycho	02:58:59	0,7593	0,7428	73,8	2,21	2,34	2,18	1,64
Imersão Campanus	03:13:34	0,7577	0,7428	89,14	2,01	2,16	1,98	1,49
Emersão Campanus	03:26:49	0,7587	0,7429	79,49	2,13	2,28	2,1	1,58
Emersão Tycho	03:56:47	0,7595	0,7432	63,24	2,19	2,32	2,17	1,63
Fim Eclipse	04:22:39	0,7533	0,7411	55,37	1,64	1,76	1,64	1,23

Tabela 4 - Fatores de Ampliação por Observador

Observador	Imersões	Emersões	No. Obs.	<f>
AAA	1,88	2,37	3	2,04
ALL	2,2	2,17	3	2,19
ACR	2,15	1,82	5	1,95
AGJ	1,74	1,74	5	1,74
ARC	1,98	-	1	1,98
FBA	1,89	1,61	2	1,75
FLF	2,104	1,81	3	2,11
HCV	2,14	1,76	6	1,95
LGZ	2,31	2,37	2	2,34
MRB	2,36	2,36	2	2,36
RL	1,69	2,32	3	2,11
RS	1,85	2,14	2	1,99
Média (n)	2,03±,06	1,99±,08	37	2,01±,05

ampliação da umbra, igual a $2,01 \pm 0,05\%$, é significativamente superior à média (entre 1,7% e 1,8%) dos valores das últimas décadas citados no periódico Sky & Telescope, determinados usando-se a formulação de Meeus. O valor de f , calculado a partir dos instantes médios da tabela 2, foi igual a $2,03 \pm 0,04\%$.

Esse valor indica que o raio calculado para a umbra, levando-se em consideração apenas a parte sólida da Terra, teria que ser acrescido de 2,0% para reproduzir o valor médio experimental encontrado a partir das cronometragens dos contatos. A discrepância é atribuída ao fato de que parte de nossa atmosfera também contribui para ampliar a sombra da Terra. Entretanto, como o raio aparente e a paralaxe do Sol também entram no cômputo do raio da umbra, o valor de 2,0% se reduz a um acréscimo correspondente a apenas $1,49 \pm 0,03$ no raio da Terra (ou na paralaxe lunar).

Poderiam ser 3 as causas desse valor elevado encontrado para f :

[1] Tendência dos observadores a confundirem a região mais escura da penumbra com a borda da umbra.

Consideramos pouco provável tal hipótese por que o processo de seleção estatístico, anteriormente mencionado, eliminou a maior parte dessas observações tendenciosas. Além disso, vários observadores experientes, obtiveram médias próximas a $\langle f \rangle$. Isso constitui uma indicação adicional da confiabilidade dos resultados, apesar do pequeno número de cronometragens.

[2] Tendência nas análises do autor.

Resultados de nossas análises têm sido frequentemente comparados com os de outras fontes, como numa espécie de calibração absoluta^{7,8,9}. As comparações têm mostrado uma boa concordância,

limitada apenas pelas incertezas experimentais, geralmente bem superiores àquelas atribuídas à teoria.

[3] Aumento real na contribuição relativa da atmosfera para a umbra.

Parece-nos a hipótese mais provável. Sabe-se que desde que o Monte Pinatubo explodiu em 1991, lançando milhões de toneladas de poeira e gases vulcânicos na estratosfera, a umbra têm se mostrado muito escura durante eclipses lunares.

Acreditamos que o eclipse de 25/5/94 ainda tenha sido severamente afetado por esse fenômeno, como também indicou a análise da luminosidade do eclipse. Provavelmente, devido ao Efeito Pinatubo, camadas mais rarefeitas da atmosfera terrestre, antes transparentes, tenham se tornado opacas, aumentando assim o fator de ampliação e mesmo, com a deposição da maior parte dos aerossóis ao longo de três anos, essa características tenha persistido até a data do eclipse.

Um elevado valor de f também foi encontrado por Soursby ($\langle f \rangle = 2,00 \pm 0,09$) para o fator de ampliação da umbra, a partir da análise de 323 cronometragens relativas ao eclipse lunar total de 4 de junho de 1993¹⁰.

Com relação ao achatamento da umbra, o qual pode ser facilmente calculado a partir da relação entre r_0 e $\text{sen}^2\Psi$, a análise mostrou apenas uma fraca correlação. Tal resultado provavelmente se deve ao reduzido número de crateras e de observações e ainda ao pequeno intervalo da variação do Ângulo Umbral.

4. Referências.

- [1]. Vital, Helio C., Eclipse Lunar Parcial de 25/5/94, Projeto de Observação da REA nº 194/94.
- [2]. Fichas padrão com observações do eclipse de 25/5/94, preenchidas por vários observadores da REA.
- [3]. Da Silva, Luiz A., Cosmos, Jornal de Astronomia e Ciência Espacial, Ano II, nº 2A, p.4, agosto de 1993.
- [4]. Link, Fred., Lunar Eclipses, Astronomy (A Handbook), Sky Publishing Corporation, 1975.
- [5]. Vital, Helio C., Eclipse Lunar Total de 29 de novembro de 1993, Reporte nº 8, REA, 1996.
- [6]. Soursby, Byron W., Improved Lunar Eclipse Ephemerides, Journal of the British Astronomical Association 100, 6, 1990.
- [7]. Espenak, F., Eclipses During 1994, Observer's Handbook, RASC, 1994.
- [8]. Espenak, R., Fifty Year Canon of Lunar Eclipses: 1986-2035, NASA, nº 1216, 1989.
- [9]. Soursby, Byron W., The Lunar Eclipse Observer, Calwell Observatory, Australia.
- [10]. Soursby, B.W., Analysis of the 1993 June 4 Total Lunar Eclipse, Australian Journal of Astronomy, 5(3): 85-92