

Estudo de velocidade de partículas associadas com flares solares

A Study of the speed of particles related to solar flares

L.A. Almeida* e M.G. Pereira†
 Departamento de Física - UEFS
 Campus Universitário Km 03, BR 116
 Feira de Santana - BA - 44031-460

Neste trabalho, apresentamos um estudo referente aos fenômenos associados com as manchas e as erupções solares (“flares”) que ocorrem na atmosfera do Sol. Resultados experimentais são obtidos com os instrumentos a bordo do satélite SOHO. Com os dados do Monitor de Prótons do instrumento *CELIAS* fazemos uma análise das partículas carregadas emitidas pelo Sol, os quais permitem a obtenção das velocidades de propagação das partículas aceleradas nos “flares”. A utilização de medidas cinemáticas das velocidades oriundas das imagens das erupções observada pelo instrumento *LASCO*, permitiram a comparação destas com as do Monitor de Prótons. Em seis eventos observados pelo *LASCO*, as velocidades mostraram grande dispersão, em contraste com o observado pelo Monitor de Prótons. Tal fato indica que os “flares” ocorrem de forma isolada, não contribuindo de uma forma efetiva para a produção global das partículas detectadas pelo Monitor de Prótons.

Palavras-chaves: Sol, Convecção, Manchas, Campo Magnético, “Flares”.

In this work, we present a study regarding the phenomena associated with the stains and eruptions (‘flares’) that happen in the atmosphere of the Sun. Experimental results are obtained with the instruments on board of the satellite SOHO. From the data of the Monitor of Protons of the instrument *CELIAS*, we make an analysis of the loaded particles emitted by the Sun which allows to get the speed of propagation of the accelerated particles on ‘flares’. The use of cinematic measures of the speeds stem from the images of the eruptions observed by the instrument *LASCO* and these measures allow a comparison with the one of the Monitor of Protons. In six events observed by the Monitor of Protons the speeds show a great dispersion, in contrast with those observed by Monitor of Protons. Such a fact indicates that the ‘flares’ take place in an isolated way so they don’t contribute in an effective way to the global production of the particles detected by the Monitor of Protons.

Key-words: Sun, Convection, Stains, Magnetic Field, Flares.

I. INTRODUÇÃO

O Sol é uma estrela anã ordinária da seqüência principal, do tipo espectral *G2* e tem idade estimada de 4,5 bilhões de anos. Sua composição de ~90% de hidrogênio (*H*), ~9,9% de Hélio (*He*) e 0,1% de elementos mais pesados como carbono, nitrogênio e oxigênio [1].

O Sol pode ser dividido em duas partes: estrutura interna e atmosfera. A estrutura interna é composta pelo núcleo, a camada radiativa e o envelope convectivo. A atmosfera é subdividida em fotosfera, cromosfera e coroa. Na fotosfera e na cromosfera ocorrem dois fenômenos importantes, são eles respectivamente, as manchas solares e as erupções solares (também chamadas de “flares”), sendo que estes últimos se estendem até a coroa.

As manchas solares são estudadas desde a antiguidade [2], e são caracterizadas por se apresentarem como estruturas de cor escura, localizadas sobre o disco solar, e mais “frias” (cerca de 2000 K), contrastando com a fotosfera circunvizinha, que tem temperatura de ~ 5780 K. Na Figura 1 é apresentada uma imagem do Sol obtida no Observatório



Fig. 1 – Imagem de manchas solares obtida no OAA

Astronômico Antares (OAA), onde se observam algumas manchas, que são representadas pelas partes mais escuras sobre o disco solar. Estas manchas solares são os maiores indicadores da atividade solar, sendo o aspecto mais importante da atividade solar o ciclo de 11 anos [1], período no

*Enderço Eletrônico: leouefs1@hotmail.com

†Enderço Eletrônico: marildo1@uefs.br

qual o número de manchas solares cresce e atinge o máximo, logo depois começa a decrescer.

As manchas solares ocorrem em função da modificação das linhas de campo magnético provocada pela diferença de velocidade de rotação dos gases no Sol, que é maior no equador solar. A velocidade diferencial de rotação dos gases no equador faz com que as linhas de força do campo magnético se alarguem até produzirem uma deformação na superfície do Sol [3]. Finalmente as linhas de campo magnético vão retorcendo-se cada vez mais até o momento em que a pressão magnética provoca a sua erupção, cuja base esta associada a uma mancha solar.

Estas manchas emitem menos energia do que a fotosfera em geral, isto ocorre devido ao confinamento das partículas nos intensos campos magnéticos associados a elas, cerca de 1000 vezes mais intensos que as outras partes da superfície (0,1 Teslas contra 10^{-4} Teslas) [1], que inibem parcialmente a energia transmitida para cima pelas células de convecção na região sub-fotosféricas [4]. Devido à ação destes intensos campos magnéticos, estas regiões se apresentam muito ativas e usualmente são fontes de erupções solares, levando a um repentino trânsito de energia liberada acima das regiões ativas do Sol, devido ao rompimento abrupto das linhas de

campo magnético [5].

A energia cinética/térmica, liberada nos “flares”, é proveniente da energia magnética armazenada na atmosfera solar. Toda essa energia, que não chega a 10% da energia total emitida pelo Sol durante 1 segundo, provoca o aquecimento e aceleração de elétrons [6], prótons e íons mais pesados presentes nos locais de liberação de energia e sua vizinhança próxima. A interação das partículas energizadas com o meio ambiente e sua aceleração provoca emissão de energia na forma de radiação, que se distribui por grande parte do espectro eletromagnético, estendendo-se desde ondas de rádio quilométricas a raios-X e gama.

Estudar a física associada com estas atividades e realizar medidas de algumas grandezas físicas associadas aos fenômenos de erupções solares como velocidade e densidade de partículas carregadas emitidas no Sol podem ser úteis para o entendimento dos processos e propriedades importantes para modelagem fenomenológica dos intrincados processos vinculados às manchas e “flares” solares. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo fazer um estudo das medidas das velocidades das partículas durante os “flares” mais intensos observados pelo satélite observatório solar *SOHO* (“Solar and Heliospheric Observatory”).

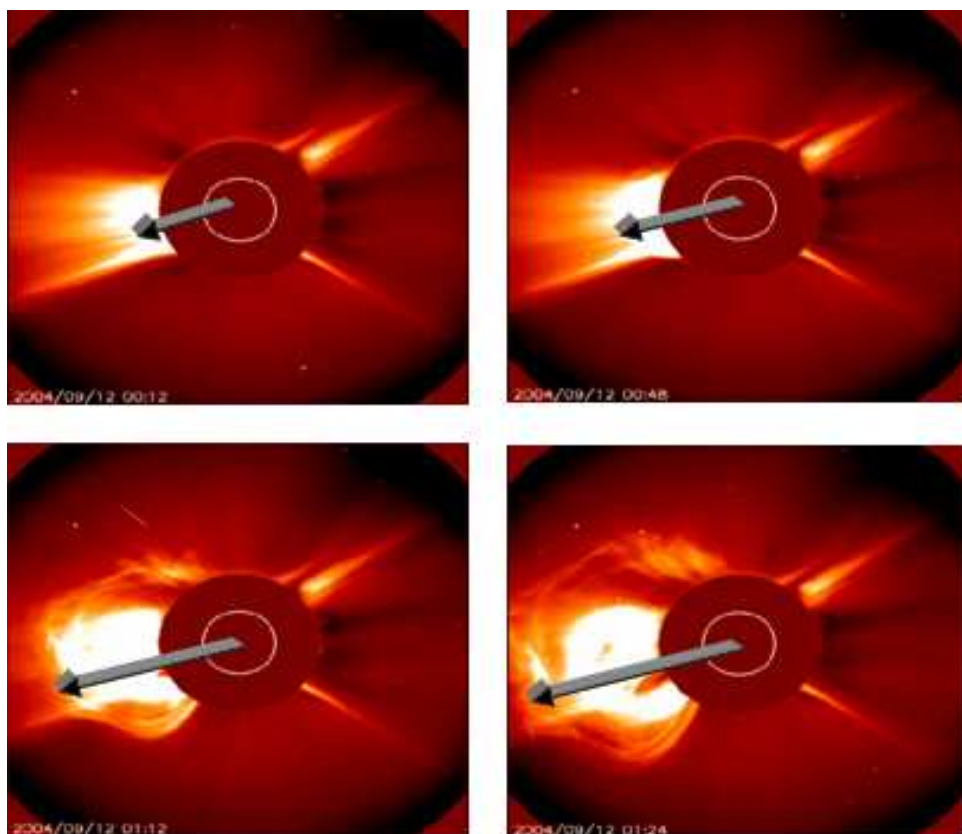


Fig. 2 – Imagens do instrumento *LASCO* mostrando o vetor de localização de um dos filamentos, usado para medidas de velocidade de ejeção de partículas. (Fonte: [7])

II. DADOS E ANÁLISE

Em 1996 foi lançado um satélite para monitorar o Sol, denominado *SOHO*. Este satélite encontra-se posicionado a uma distância de 1,5 milhão de quilômetros da Terra, num ponto considerado ideal, pois é onde os campos gra-

vitacionais da Terra e do Sol se anulam, permitindo que o satélite permaneça imóvel e sempre voltado para o Sol. Neste satélite encontram-se vários instrumentos, dentre eles o instrumento imageador *LASCO* (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) e o Monitor de Prótons (o qual monitora o fluxo de prótons e núcleos medindo diretamente suas velocidades e densidades) os quais foram as fontes de

dados utilizadas para este trabalho. As imagens foram obtidas do banco de dados públicos localizada na internet no endereço [7]. Os dados do Monitor de Prótons foram obtidos no endereço [8].

A metodologia utilizada para obtenção das velocidades de ejeção de partículas carregadas do Sol, a partir das imagens obtidas com o imageador *LASCO*, é bastante simples, sendo usado no processo apenas princípios básicos de cinemática. Essa grandeza física é obtida por meio da realização de duas

medidas de posições diferentes dos filamentos de partículas, permitindo assim a medida do deslocamento ΔS da frente de choque deste filamento, observado em um intervalo de tempo ΔT . Uma ilustração do vetor posição usado para medida de velocidade é apresentada na Figura 2.

As velocidades médias obtidas das imagens são comparadas com as do Monitor de Prótons. Com os dados do Monitor de Prótons foram obtidas as séries temporais de velocidades e densidades de partículas emitidas pelo Sol.

Data	Hora (UT)	ΔS ($\times 10^4$ km)	Δt ($\times 10$ s)	V (km/s) LASCO	V (km/s) PM
20/02/00	09:06 a 09:54	45 \pm 3	144 \pm 6	580 \pm 50	350
26/02/00	00:06:05-00:30:05	91 \pm 4	72 \pm 6	1300 \pm 200	692
26/02/00	00:30:05-00:54:07	70 \pm 4	72 \pm 6	1000 \pm 200	692
18/10/03	15:30-16:05	45 \pm 3	210 \pm 6	440 \pm 20	
18/10/03	16:05-16:30	82 \pm 4	150 \pm 6	540 \pm 30	
19/10/03	22:30-23:32	47 \pm 4	372 \pm 6	125 \pm 3	
19/10/03	23:32-00:05	23 \pm 4	198 \pm 6	118 \pm 4	
20/10/03	00:05-00:54	35 \pm 4	294 \pm 6	119 \pm 3	
22/10/03	09:05-09:54	70 \pm 4	294 \pm 6	238 \pm 5	
22/10/03	09:54-10:30	93 \pm 4	216 \pm 6	430 \pm 20	
22/10/03	19:54-20:30	70 \pm 4	216 \pm 6	324 \pm 9	
26/10/03	0205-03:30	117 \pm 4	510 \pm 6	228 \pm 3	
28/10/03	11:05-11:54	233 \pm 4	294 \pm 6	790 \pm 20	
29/10/03	20:28-21:30	280 \pm 4	372 \pm 6	750 \pm 20	
09/11/03	11:18-14:18	56 \pm 20	108 \pm 6	520 \pm 20	
09/11/03	07:42-09:18	200 \pm 20	576 \pm 6	340 \pm 30	
11/11/03	06:42-08:42	220 \pm 20	720 \pm 6	310 \pm 20	
29/03/04	02:20-03:20	64 \pm 3	360 \pm 6	180 \pm 10	610
04/06/04	08:50-09:26	45 \pm 3	216 \pm 6	200 \pm 20	464
04/06/04	17:06-17:50	95 \pm 3	264 \pm 6	380 \pm 20	435
12/09/04	00:48-01:12	123 \pm 3	144 \pm 6	880 \pm 60	

Tab. I – Valores das velocidades encontradas nos flares solares, utilizando as imagens do instrumento *LASCO*, e as velocidades correspondentes às medidas obtidas pelo Monitor de Próton (*PM*).

III. RESULTADOS

Os valores de velocidades e densidades médias obtidas pelo Monitor de Prótons, nos anos de 2000, 2003 e 2004 podem ser observados nas séries temporais dos painéis das Figuras 3, 4 e 5 (no anexo). Na Tabela I estão sintetizados os resultados de imagens de 21 “flares” observados pelo *LASCO*. Nesta tabela, são apresentados os valores do espaço percorrido pelas partículas do flare, ΔS , e o intervalo de tempo t , e assim obtidas as velocidades com o procedimento descrito para a as imagens da Figura 2.

As séries temporais obtidas com o Monitor de Prótons cobrem o período de 1996 a 2004. Além dos valores das velocidades, estes dados fornecem também valores da densidade de partículas oriundas dos “flares”. O valor típico para esta densidade é de $\sim 7.4(4)$ partículas/ cm^3 h. A análise de periodicidade obtidas com o uso da Transformada Discreta de Fourier não apresenta indicação de qualquer período com significância superior a 90% de confiabilidade.

IV. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O problema proposto de se estudar a física das manchas e “flares” solares, vem no sentido de ajudar a estabelecer metodologias de tratamento de dados visando discutir e melhorar modelos que interpretam os fenômenos solares e sua interação com a Terra.

A comparação entre as velocidades medidas das imagens do *LASCO* e as do Monitor de Prótons não fornecem indícios de existência de correlação forte entre elas. As velocidades do *LASCO* apresentam um valor médio de 464 km/s com uma grande dispersão (319 km/s), dispersão esta influenciada pelas flutuações de temperaturas e intensidades do campo magnético associado com os “flares”. Para efeitos de comparação destacam-se, dos eventos analisados, os seis (6) eventos com medidas de observações simultâneas realizadas pelo *LASCO* e o Monitor de Prótons. As velocidades das partículas medidas pelo Monitor de Prótons, nestes eventos, apresentam valor médio de 540 km/s com dispersão de 144 km/s, entretanto, a variação percentual relativa entre as velocidades medidas pelos dois instrumentos, em relação à velocidade média medida pelo Monitor de Prótons, mostram variações de 14% a 112%. O grande con-

traste entre as velocidades medidas pelos dois instrumentos origina-se do fato de que as imagens feitas pelo *LASCO* mostram “flares” cuja direção de propagação é transversal à linha de visada, e se restringe (geralmente) a eventos isolados, de forma que a contribuição destes eventos para a densidade de partículas detectadas pelo Monitor de Prótons é muito pequena, tendo em vista que este último deve dar conta de um efeito global das partículas emitidas ao longo de toda a superfície do disco solar. Tais observações permitem concluir que os “flares” são eventos que projetam um fluxo de partículas em um cone bastante restrito, e que

acontecem de forma isolada na superfície do Sol, não sendo acompanhados por emissões de outras erupções simultâneas espalhadas pela superfície solar

AGRADECIMENTOS

LAA foi suportado pela bolsa de iniciação científica FAPESB (Processo n° 1431040032856).

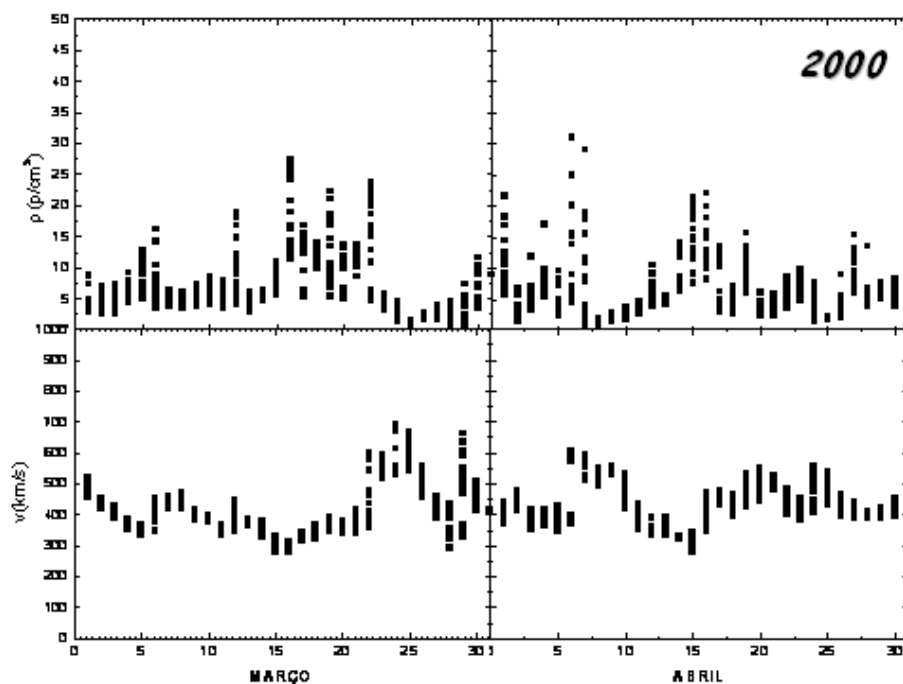


Fig. 3 – Gráfico mostrando a variação de densidade e velocidade dos prótons detectados pelo Monitor de Prótons no período de Março e Abril do ano de 2000.

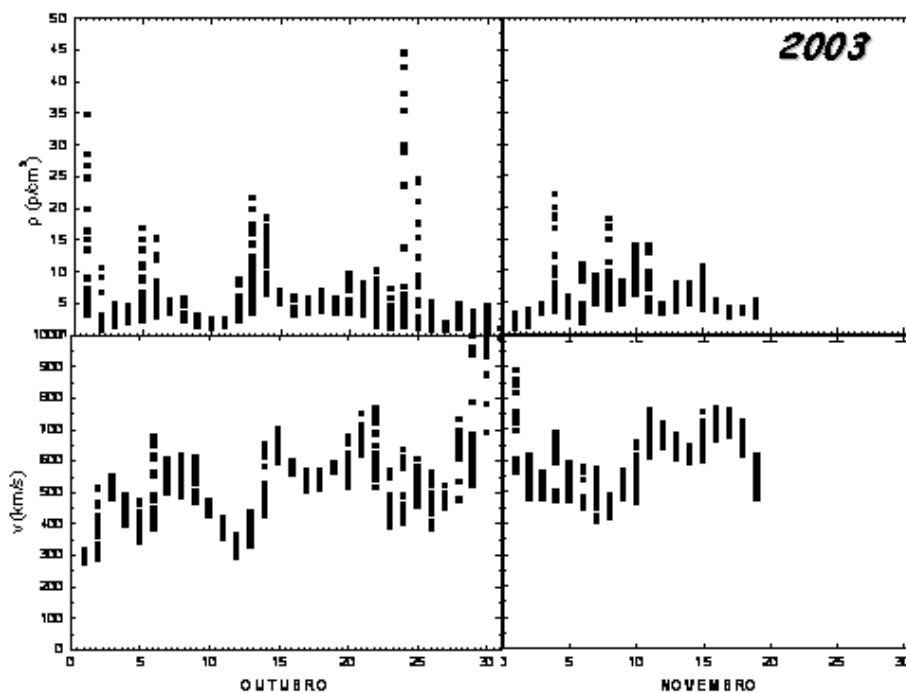


Fig. 4 – Gráfico mostrando a variação de densidade e velocidade dos prótons detectados pelo Monitor de Prótons no período de Outubro e Novembro do ano de 2003.

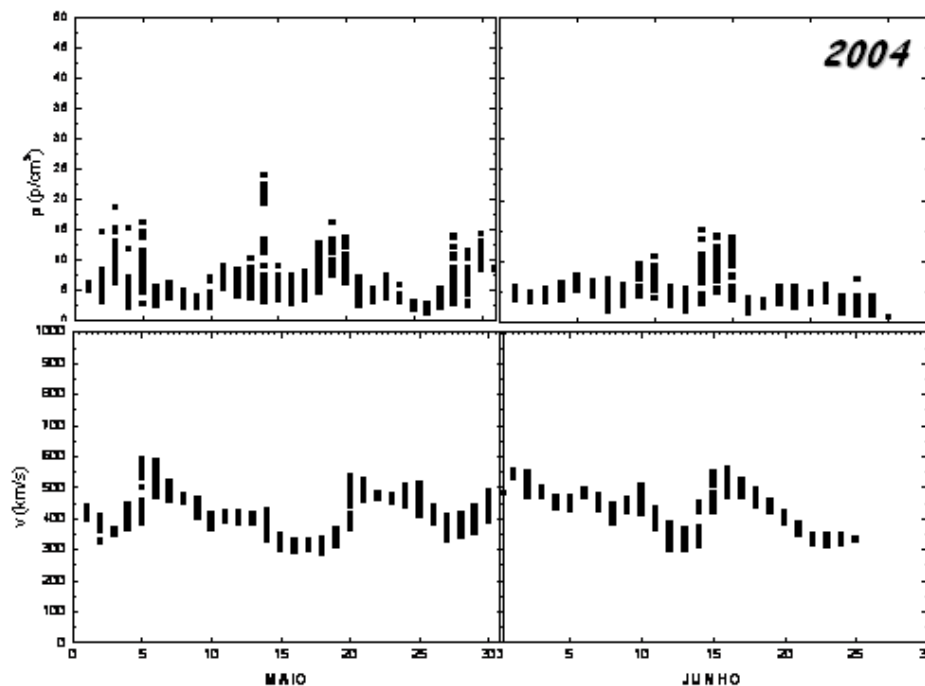


Fig. 5 – Gráfico mostrando a variação de densidade e velocidade dos prótons detectados pelo Monitor de Prótons no período de Maio e Junho do ano de 2004.

[1] E. Echer *et al.*; *Revista Brasileira de Ensino em Física* **25** (2) (2003).
 [2] http://www.istp.gsfc.nasa.gov/Education/Mhsun.htm/05_06_2004/.
 [3] J.H. Piddington; *Astrophysics and Space Science* **34** 347 (1974).
 [4] R. Trampedach *et al.*; *The Present and Future*, Noordwijk Netherlands, ESA publication: Division, California (USA) (2002).
 [5] P. Giuliani *et al.*; *Physica A* **280** 75 (2000).
 [6] M. Gagné *et al.*; *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun, ASP Conference Series, Tenth Cambridge Workshop*, eds. R.A. Donahuc and J. A. Bookbinder, Provo, 154 (1998).
 [7] http://www.nascom.nasa.gov/sohohots/2003_11_04/.
 [8] http://www.umtof.umd.edu/pm/2004_06_04/.