



# Interação de Nuvens Magnéticas com o Meio Interplanetário Circunvizinho

A. Dal Lago; W. D. Gonzalez; A. L. C. de Gonzalez; L. E. A. Vieira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Brasil

## RESUMO

É apresentado um estudo da interação entre Nuvens Magnéticas e o Meio Interplanetário Circunvizinho para um conjunto de 12 Eventos – Nuvens Magnéticas, bem conhecidas na Literatura Especializada, observadas em 1 UA. Apresenta-se um estudo da influência da presença de uma onda de choque dianteira no perfil e na intensidade do campo magnético interno da Nuvem, através do cálculo da Pressão Térmica ( $NkT$ ) e Pressão Magnética ( $B^2/8\pi$ ) ao longo de toda e extensão dos eventos. Para o caso de Nuvens Magnéticas interagindo com Feixes de Alta Velocidade, calculou-se, além das Pressões Térmica e Magnética, a Pressão Dinâmica ( $1/2 \cdot N \cdot m_p \cdot V_R^2$ ) devido a velocidade relativa ( $V_R$ ) entre as duas estruturas e observou-se uma tendência de o campo magnético interno destas Nuvens estar empilhado e intensificado próximo à interface de interação com o feixe. As intensificações de campo magnético das Nuvens Magnéticas têm consequências para as tempestades magnéticas.

## INTRODUÇÃO

Nuvens Magnéticas são estruturas interplanetárias que, em 1 UA, apresentam campo magnético intrínseco intenso (tipicamente  $>10nT$ ), baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta de plasma ( $\sim 0,1$ ), e rotação da direção do vetor campo magnético interno em um grande intervalo de ângulo (Burlaga et al., 1981). Por apresentarem substancial parte de seu campo magnético direcionado para o Sul - Bs, posteriormente rotacionando para o Norte (ou vice-versa), são estruturas causadoras de Tempestades Magnéticas devido a intensificação do Campo Elétrico Interplanetário  $V \times B_s$  ( $V$  é a velocidade do Vento Solar), que governa o processo de reconexão entre o Campo Magnético Interplanetário e o Campo Geomagnético, responsável pela transferência de energia do Vento Solar para a Magnetosfera (Dungey, 1961; Gonzalez et al., 1994).

A interação de Nuvens Magnéticas com estruturas circunvizinhas foi primeiramente observada por Klein e Burlaga (1982), que identificaram interações entre Nuvens Magnéticas e Ondas de Choques dianteiras e entre Nuvens Magnéticas e Feixes Corrotantes de Altas Velocidades. Tsurutani et al. (1988) mostraram que cinco das dez Tempestades mais intensas do período de 1978-1979 foram causadas por Nuvens Magnéticas e todas apresentavam Onda de Choque dianteira associada. Gonzalez et al. (1998a) apresentaram uma tendência de Nuvens Magnéticas que se propagam com maiores velocidade possuírem maior campo magnético intrínseco, e portanto maior geoeffectividade. Estes autores propuseram que poderia estar ocorrendo compressão da Nuvem Magnética através da interação com a onda de choque dianteira. Eventos compostos por Nuvens Magnéticas e Feixes de Alta Velocidade normalmente estão ligados a ocorrência de Tempestades Magnéticas, de acordo com o estudo feito por Burlaga et al. (1987). Bothmer e Schwenn (1995) estudaram tempestades intensas ocorridas no período de 1966-1990, onde grande parte estava associada à Nuvens Magnéticas associadas à Ondas de Choque, a exceção de uma que apresentava um Feixe de Alta Velocidade comprimindo a Nuvem na parte trazeira, intensificando seu campo magnético interno que estava substancialmente na direção Sul. Badruddin (1998) considerou três grupos de Nuvens Magnéticas, (a) precedidas por Ondas de Choque, (b) seguidas por Regiões de Interação (que separam Nuvens Magnéticas de Feixes de Alta Velocidade), e (c) sem nenhuma destas interações, e concluiu que as Tempestades Magnéticas eram mais intensas se associadas a Nuvens com rotação da componente Bz de *Sul para Norte* no grupo (a) – associadas a Ondas de Choque, estando de acordo com resultados obtidos por Gonzalez e Gonzalez (1988). No grupo (b) – associadas a Regiões de Interação, as Tempestades mais intensas estavam associadas a rotação da componente Bz de *Norte para Sul*. Gonzalez et al. (1998b), examinando o perfil de Tempestades Magnéticas muito intensas ocorridas no período de 1957 até a presente data, destacaram a importância das Nuvens Magnéticas interagindo com estruturas circunvizinhas como possíveis causas interplanetárias destes eventos geomagnéticos.

## ANÁLISE DOS DADOS

Foram analisadas as variações temporais das médias horárias dos parâmetros de plasma e campo magnético para um conjunto de 12 Nuvens Magnéticas bem conhecidas na Literatura Especializada. Para melhor visualização, dividimos todos os eventos em 4 regiões características que são ilustradas na Figura 1.

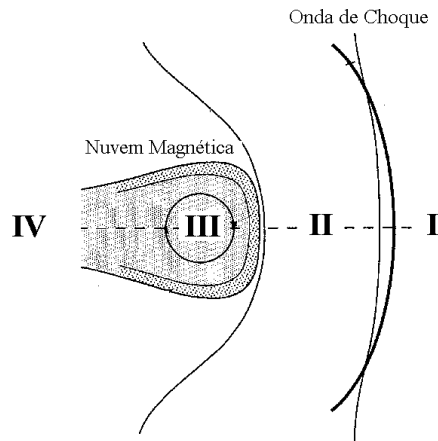


Figura 1 - I – Região Frontal; II – Região da Lâmina entre a Nuvem e a Onda de Choque; III – Região interna da Nuvem Magnética; IV – Região logo atrás da Nuvem Magnética.

Em seguida calculamos: (a) Pressão Térmica,  $NkT$ , onde  $N$  é a densidade numérica,  $k$  a constante de Boltzmann e  $T$  a temperatura de prótons; (b) Pressão Magnética,  $B^2/8\pi$ , onde  $B$  é a intensidade do campo magnético; e (c) a Pressão Estática Total,  $Nkt + B^2/8\pi$  (Térmica mais Magnética). A Figura 2 ilustra a Pressão Magnética, Pressão Térmica, Pressão Estática Total e parâmetro beta (Pressão Térmica/Pressão Magnética), para a Nuvem Magnética ocorrida em 29 de Setembro de 1978. Uma onda de choque está indicada pela letra “S”. Há uma pequena lacuna nos dados um pouco antes da Nuvem Magnética, porém podemos observar um aumento da Pressão Térmica, devido a um aumento de Temperatura algumas horas antes da Nuvem Magnética. Este pico de Pressão Térmica é comparável ao pico de Pressão Magnética na interface interna da Nuvem Magnética. Esta Nuvem Magnética apresentava rotação de sua componente  $B_z$  de *Sul para Norte* e estava associada a uma Tempestade Magnética cujo índice  $Dst$  teve pico de  $-224$  nT.

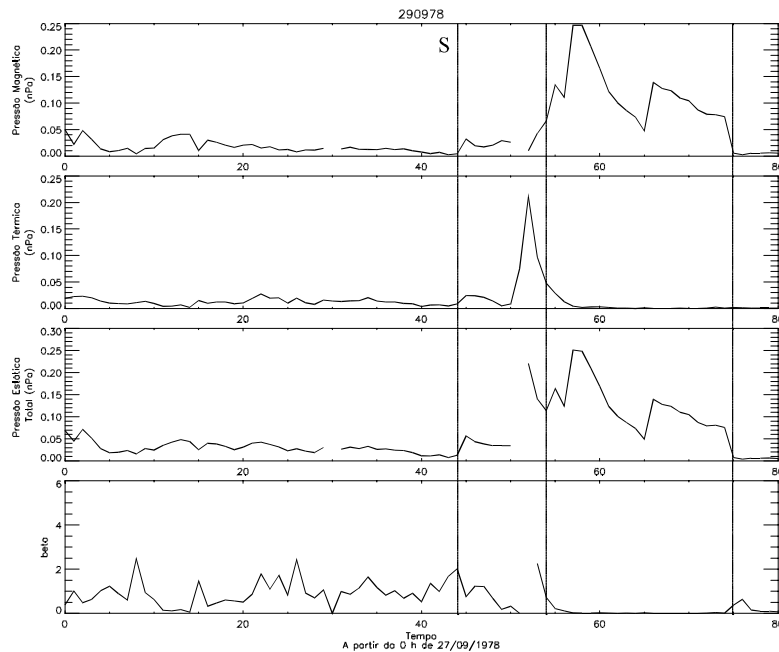


Figura 2 - Variação temporal da Pressão Magnética, da Pressão Térmica, da Pressão Estática Total e do Parâmetro beta da Nuvem Magnética ocorrida em 29/09/1978.

Para os eventos que apresentavam Feixes de Altas Velocidades atrás das Nuvens Magnéticas calculamos a Pressão Dinâmica relativa,  $(1/2) \cdot N \cdot m_p \cdot V_R^2$ , devido a velocidade relativa ( $V_R$ ) entre o Feixe e a Nuvem. Na expressão,  $N$  é a densidade numérica e  $m_p$  é a massa do próton. A velocidade relativa é calculada em relação a um referencial se movendo com a velocidade da parte trazeira da Nuvem Magnética. A Figura 3 ilustra a interação de um Feixe de Alta Velocidade e uma Nuvem Magnética, ocorrida em 01 de Abril de 1973. Estão representados, a intensidade do campo magnético, a componente  $B_z$  do campo magnético, a velocidade e, no último painel inferior, a Pressão Estática Total

(linha pontilhada) e a Pressão Total (linha cheia), incluindo a Pressão Dinâmica ( $NkT + B^2/8\pi + (1/2).N.m_p.V_R^2$ ). A Nuvem Magnética apresentava rotação do campo magnético de *Norte para Sul*, e a Tempestade Magnética associada a ela apresentou pico do índice Dst de  $-211$  nT.

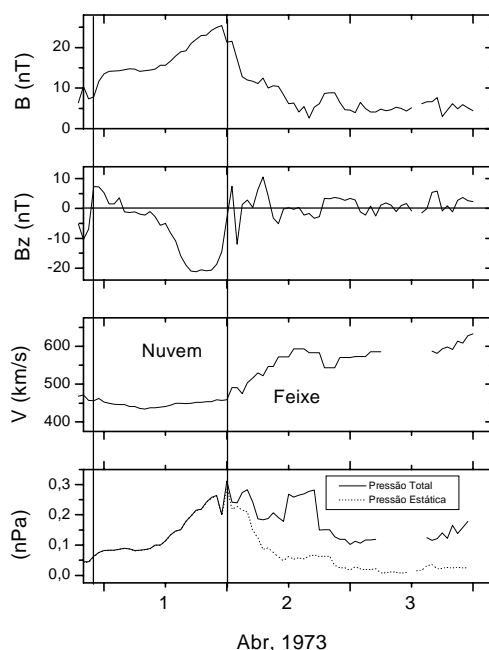


Figura 3 - Variações temporais do campo magnético, da velocidade, da componente Bz do campo magnético, da Pressão Estática Total e da Pressão Total na interface entre uma Nuvem Magnética e um Feixe de Alta Velocidade, ocorridos em 01/04/1973.

Os valores de todas as pressões foram calculados nas interfaces II-III e III-IV dos 12 eventos (Tabela 1) e comparados ao perfil da intensidade do campo magnético interno das Nuvens Magnéticas. Na Tabela 1, foram utilizados os seguintes símbolos para representar o perfil do campo magnético dos eventos: (1)  $\wedge--$ , perfil do campo magnético interno da Nuvem deslocado para a região frontal; (2)  $--/\wedge$ , perfil do campo magnético interno da Nuvem deslocado para a região traseira; e (3)  $.-\wedge.-$ , dois picos de intensidade do campo magnético no interior da Nuvem Magnética.

Tabela 1 - Perfil do campo magnético interno das Nuvens Magnéticas, pressões médias nas interfaces II-III e III-IV.

Data do Evento	Perfil do campo magnético	Região II		Região III		Região IV
		Pressão (nPa)	Pressão (nPa)	Pressão (nPa)	Pressão (nPa)	Pressão (nPa)
11/02/69	$\wedge--$	0.0545	0.0686	0.0274	0.0144	
28/09/78	$\wedge--$	0.0577	0.1645	0.0792	0.0063	
07/01/79	$\wedge--$	0.0226	0.0584	0.0224	0.0652	
14/01/88	$\wedge--$	0.2052	0.2653	0.0756	0.0228	
01/04/73	$--/\wedge$	0.0402	0.0806	0.2061	0.2283	
17/11/75	$--/\wedge$	0.0232	0.0350	0.0526	0.0841	
26/08/78	$--/\wedge$	0.0711	0.1836	0.1799	0.2150	
18/10/95	$--/\wedge$	0.0678	0.1670	0.2222	0.1740	
27/05/96	$--/\wedge$	0.0042	0.0512	0.0719	0.0538	
25/05/75	$.-\wedge.-$	0.0134	0.0359	0.0416	0.1040	
18/09/79	$.-\wedge.-$	0.0843	0.0842	0.0366	0.0291	
18/12/80	$.-\wedge.-$	?	0.4035	0.2700	0.1549	

## DISCUSSÃO DOS RESULTADO E CONCLUSÕES

No evento da Figura 2, que ilustra as Nuvens Magnéticas associadas à Ondas de Choque, podemos ver um pico da Pressão Térmica logo a frente da Nuvem, na região II. Este pico apresenta valor comparável ao valor da Pressão Magnética na parte interna da Nuvem Magnética. Podemos pensar que o pico de Pressão Térmica estava atuando como um obstáculo para a Nuvem Magnética, provocando empilhamento e intensificação de seu campo magnético interno próximo a interface dianteira, o qual se apresentava direcionado para o Sul (Nuvem Sul-Norte). Esta configuração causou uma Tempestade Magnética Intensa cujo pico do índice Dst foi de  $-224$  nT.

No evento da Figura 3, que ilustra as Nuvens Magnéticas que estavam interagindo com Feixes de Alta Velocidade, podemos ver que o Feixe comprime a Nuvem pela parte de trás devido a sua Pressão Total, com forte contribuição da Pressão Dinâmica devida à diferença de velocidade do Feixe e da Nuvem. O campo magnético interno da Nuvem na interface com o Feixe foi comprimido e intensificado, resultando em um perfil assimétrico bastante atípico. Na parte traseira o campo magnético da Nuvem estava direcionado para o Sul (Nuvem Norte-Sul) e causou uma Tempestade Magnética Intensa, cujo pico do índice Dst foi de  $-211$  nT.

Observamos que todas as Nuvens Magnéticas que estavam interagindo com Feixes de Alta Velocidade apresentavam perfil do campo magnético interno assimétrico deslocado para a parte traseira. No evento ocorrido em 18/09/1979, as pressões apresentaram valores médios próximos nas interfaces II-III e III-IV, podendo esta ser a razão para a existência de uma estrutura de campo magnético com dois picos. É possível que esta nuvem magnética estivesse interagindo com uma estrutura a sua frente e com uma estrutura a sua traseira, sendo comprimida pelas duas. A tempestade magnética associada a esta nuvem magnética foi intensa, com pico do valor do índice Dst atingindo  $-158$  nT. Este estudo é um indicativo de que o meio circunvizinho afeta o campo magnético das Nuvens Magnéticas. Como sua estrutura é favorável à ocorrência de Tempestades Magnéticas, as intensificações de campo magnético exercidas pelas compressões, ora na parte frontal pela formação de uma Onda de Choque, ora na parte traseira pela compressão exercida por um Feixe de Alta Velocidade, influenciam na intensidade da Tempestade, principalmente se a parte Sul da Nuvem estiver no região da interface de interação.

## REFERÊNCIAS

- Badruddin Interplanetary shocks, magnetic clouds, stream interfaces and resulting geomagnetic disturbances. Planet. Space Sci.*, 46, 8, 1015-1028, 1998.
- Bothmer, V. e Schwenn, R. The interplanetary and solar causes of major geomagnetic storms. J. Geomag. Geoelectr.*, 47, 1127-1132, 1995.
- Burlaga, L. F.; Sittler, E.; Mariani, F.; Schwenn, R. Magnetic loop behind an interplanetary shock: Voyager, Helios and IMP-8 observations, J. Geophys. Res.*, 86, A8, 6673-6684, 1981.
- Burlaga, L. F.; Behannon, K. W.; e Klein, L. W. Compound streams, magnetic clouds, and major geomagnetic storms. J. Geophys. Res.*, 92, A6, 5725-5734, 1987.
- Dungey, J. W. Interplanetary magnetic field and auroral zones. Phys. Rev. Lett.*, 6, 47, 1961.
- Gonzalez, W. D. e Gonzalez, A. L. C. Comments on "Geomagnetic response to magnetic clouds" by Robert M. Wilson. Planet. Space Sci.*, 36, 12, 1485-1487, 1988.
- Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. What is a geomagnetic storm? J. Geophys. Res.*, 99, A4, 5771-5792, 1994.
- Gonzalez, W. D.; Clúa de Gonzalez, A. L.; Dal Lago, A.; Tsurutani, B. T.; Arballo, J. K.; Lakhina, G. K.; Buti, B.; Ho, C. M.; e Wu, S. -T. Magnetic cloud field intensities and solar wind velocities. Geophys. Res. Lett.*, 25, 7, 963-966, 1998a.
- Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Kamide, Y.; Gonzalez, A. L. C.; Dal Lago, A.; e Arballo, J. K. Interplanetary cause of very intense magnetic storms. Phys. Space Plasmas*, 15, 129-133, 1998b.
- Klein, L. W.; Burlaga, L. F. Interplanetary Magnetic Clouds at 1 AU, J. Geophys. Res.*, 87, A2, 613-624, 1982.
- Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Tang, F.; Akasofu, S. I.; e Smith, E. J. Origin of interplanetary southward magnetic field responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979). J. Geophys. Res.*, 93, A8, 8519-8531, 1988.