

RECONEXÃO MAGNÉTICA: UMA ANÁLISE INTRODUTÓRIA LAÍNE BENGIO SOARES ROSALES¹; FERNANDO SIMÕES JR.²

¹Universidade Federal de Pelotas – bsrlaine@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – fernando.simoes@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O termo reconexão magnética remete, em um primeiro momento, a uma relação com magnetismo, e realmente há, a reconexão magnética tem relação direta com a ideia de linhas de campo magnético que interagem entre si. Essas linhas de campo estão associadas ao campo magnético intrínseco ou induzido de planetas, cometas, estrelas, entre outros. Em nosso planeta, em regiões de entrada de energia proveniente do vento solar, neste estudo analisaremos a reconexão magnética na magnetosfera da Terra, onde ocorrem fenômenos de alta importância e que garantem a vida no planeta, além de nos proporcionar a observação de um belo fenômeno chamado aurora, boreal (polo Norte) e austral (polo Sul).

A reconexão magnética é um processo importante associado ao acoplamento do vento Solar com a magnetosfera Terrestre. Durante o processo de reconexão ocorre a transferência de energia do vento solar, massa e momento, para as regiões internas da magnetosfera (Kivelson e Russel, 1995). A reconexão ocorre em pontos específicos, chamados de pontos X, no qual as linhas de campo magnético se aproximam assintoticamente, Figura 1, (Burch et al. 2016). Ao longo dos anos a reconexão magnética foi estudada em escala iônica e mais recentemente, com o advento dos satélites, vem sendo estudada também em escala eletrônica, em especial com o lançamento da missão *Magnetospheric Multiscale* – (MMS) (Burch et al, 2015).

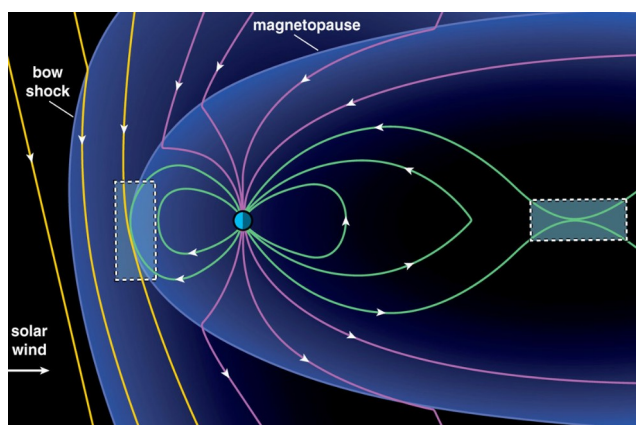


Figura 1: Esquema da magnetosfera terrestre. As regiões de formato retangular são os locais nos quais a reconexão é geralmente observada. FONTE: BURCH et al. (2015)

Ocorrendo na magnetopausa (região que separa o vento solar e a magnetosfera da Terra) e na magnetocauda (região noturna da magnetosfera atua como um reservatório de energia e plasma) não só na Terra, mas também em outras magnetosferas planetárias e no vento solar (JAUER, 2014).

Estudos analíticos e simulações numéricas têm apresentado contribuições de destaque na compreensão do processo físico que envolve a reconexão magnética, entretanto, várias questões fundamentais permanecem em aberto. O gru-

po de definição científica e tecnológica do MMS identificou algumas questões, (Curtis, 1999).

1. Qual o processo cinético responsável pela reconexão magnética não colisional, e como a reconexão é inicializada? 2. Onde a reconexão ocorre na magnetopausa e na magnetocauda, e o que está relacionado nessa ocorrência? 3. Como a reconexão varia com o tempo, e quais fatores influenciam nesse comportamento temporal? 4. A que taxa (como fração da velocidade de Alfvén) a reconexão ocorre, e como essa taxa é afetada pela composição de íons, plasma ou simetria magnética, entre outros fatores?

A importância em compreender o processo de reconexão está no fato de que reconexão magnética é quase que rotineiramente observada em limites de grande escala na magnetopausa e a magnetocauda da Terra. No entanto, os detalhes físicos da reconexão, especialmente em escalas cinéticas, são em grande parte desconhecidas. (VÖRÖS, 2017). Por isso, os dados do cluster de satélites Magnetospheric Multiscale (MMS) são importantes, considerando que o mesmo capta o maior número possível de cruzamentos das partículas do vento solar na magnetopausa, permitindo uma investigação sob condições limites diferentes (BURCH, 2016), sua órbita e configuração em formato tetraédrico, Figura 2, proporciona um estudo mais aprofundado dos locais de reconexão.

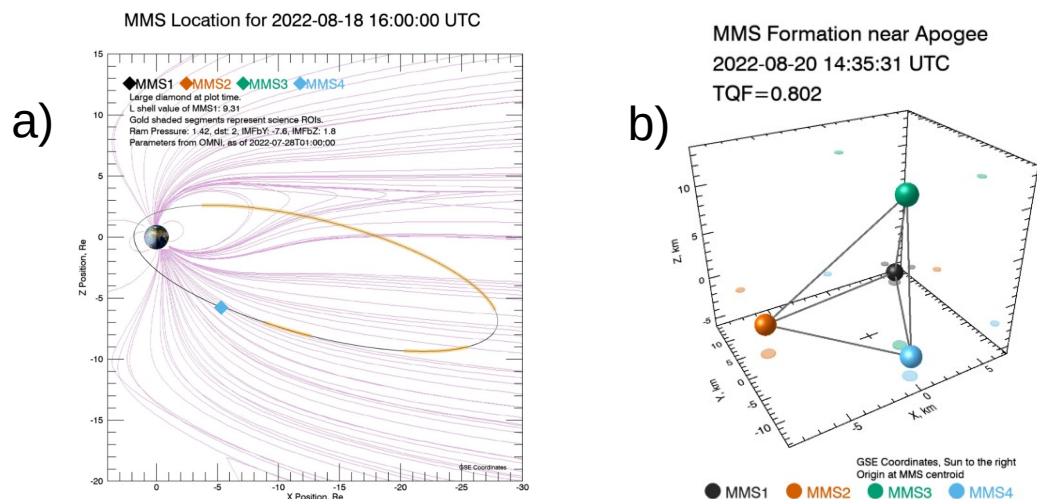


Figura 2: a) Configuração da órbita e b) configuração tetraédrica do sistema MMS. FONTE: BURCH, (2016)

Quando a reconexão acontece, a energia do campo magnético é convertida em energia cinética dos íons e elétrons do plasma, e os plasmas podem se mover diretamente através dos limites que separam regiões de diferentes domínios magnéticos. Este processo ocorre de forma mais eficiente quando os campos magnéticos em domínios de plasma adjacentes são orientados de forma oposta ou antiparalela um ao outro (reconexão antiparalela), mas também ocorre para configurações arbitrárias nas quais os dois campos têm um componente antiparalelo (reconexão componente ou campo-guia) (BURCH, 2015).

2. METODOLOGIA

Nesse trabalho analisaremos os dados espaciais e/ou temporais do sistema (MMS) da NASA, estes dados estão disponíveis de forma pública. Serão selecionados eventos específicos que permitam identificar as regiões de reconexão magnética. Uma vez que os eventos sejam selecionados, utilizaremos o pacote de visualização de dados CDF desenvolvido pela NASA, e também pacotes em python para tratamento de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os dados de um evento de reconexão magnética detectado pelo satélite MMS1, com parâmetros típicos que definem o processo de reconexão. Os dados são mostrados em um sistema de coordenadas tal que, N é ao longo da linha normal da magnetopausa, L ao longo da direção dos campos reconectando e M aproximadamente ao longo da direção da linha X. A Figura 3b mostra um ponto de “nulo magnético” na componente N em torno de $t = 43,25$ s. A Figura 3h mostra uma corrente fora do plano bifurcado (traço verde). Os dois picos de corrente (linhas verticais tracejadas 2 e 4) coincidem com duas regiões de energização de elétrons (Fig. 3d), duas regiões de aquecimento de elétrons (Fig. 3j) e duas regiões de campos elétricos fortes (Fig. 3k). As atividades do campo elétrico é consistente com a passagem do satélite acima da linha X no caso de linhas de campo reconectadas.

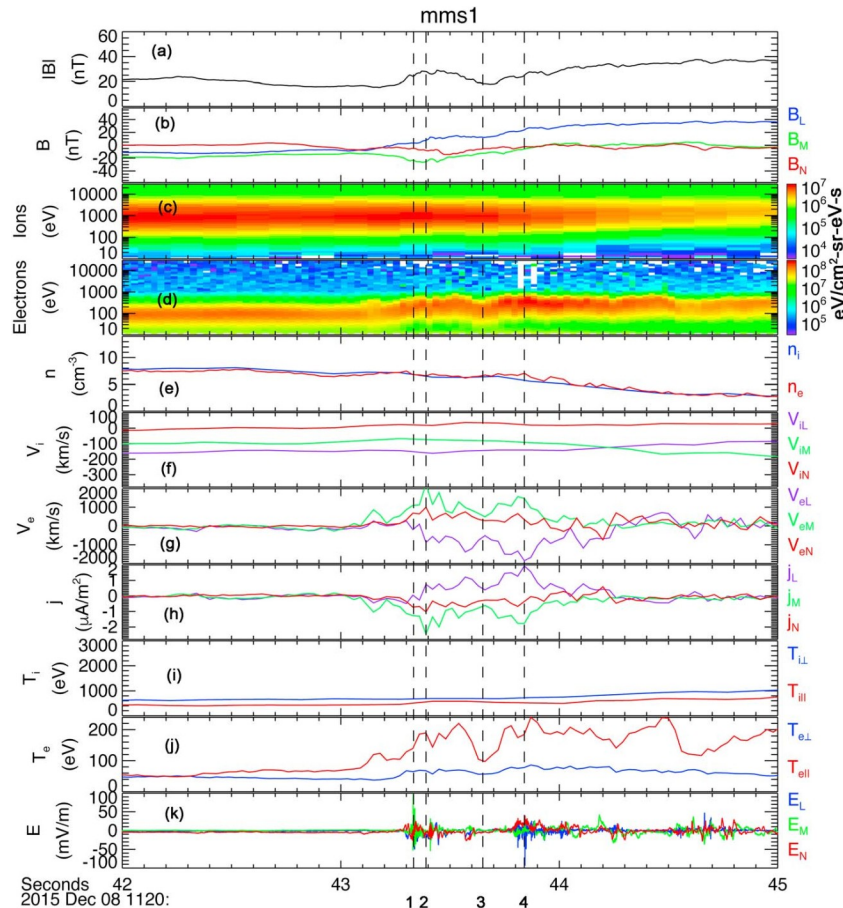


Figura 3: Dados temporais do MMS1, para um período de 3 segundos iniciando às 11:20:42 UT do dia 8 de dezembro de 2015.
FONTE: BURCH, (2016)

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho está em fase inicial, uma vez que a autora está no início do curso de bacharelado em Física. Do ponto de vista científico, a compreensão do processo de reconexão magnética pode, além de proporcionar o domínio do fenômeno físico, auxiliar na compreensão de outros processos que ocorrem na magnetosfera de planetas e também em fenômenos que ocorrem em experimentos de fusão nuclear, tokamaks.

Os autores, na condição de bolsistas, agradecem o **Programa de Educação Tutorial – PET**.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURCH, J.L., MOORE, T.E., TORBERT, R.B. et al.. **Magnetospheric multiscale overview and science objectives**. Space Sci Rev 199, 5–21 (2015).

BURCH, J. L., PHAN, T. D.. **Magnetic reconnection at the dayside magnetopause: Advances with MMS**, Geophysical Research Letters., 43, 8327-8338, (2016).

JAUER, P. R. **Estudo sobre reconexão magnética na magnetopausa terrestre por meio de simulação MHD 3D BATS-R-US**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p. 7- 12, 2014.

KIVELSON, M.G., RUSSELL, C.T. **Introduction to space physics**. Los Angeles EUA: Cambridge University Press, 1995.1ed.

S. Curtis, **The Magnetospheric Multiscale Mission—Resolving Fundamental Processes in Space Plasmas**. Re-port of the NASA Science and Technology Definition Team for the Magnetospheric Multiscale. (MMS) Mission (NASA/TM; 2000-209883) (1999).

VÖRÖS, Z., YORDANOVA, E., VARSANI, A., GENESTRETI, K.J., KHOTYAINTEV, Y. V., LI, W., SAITO, Y.. **MMS observation of magnetic reconnection in the turbulent magnetosheath**. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, 11.442–11.467, (2017).