

VIII Workshop da Pós-graduação em Astrofísica - DAS/INPE
São José dos Campos, 7-8 Abril 2015

Propagação de Ondas MHD na Atmosfera Solar

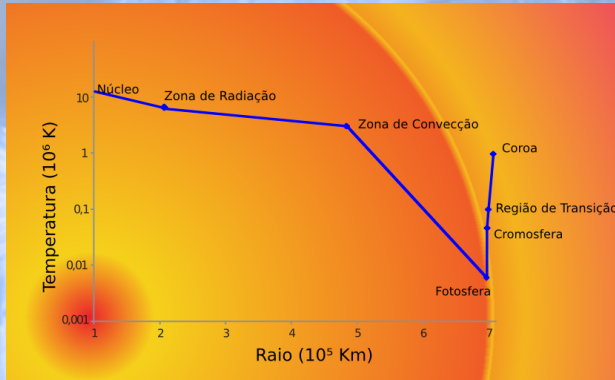
Sandra M. Conde C.
Dr. Joaquim E. Rezende C.



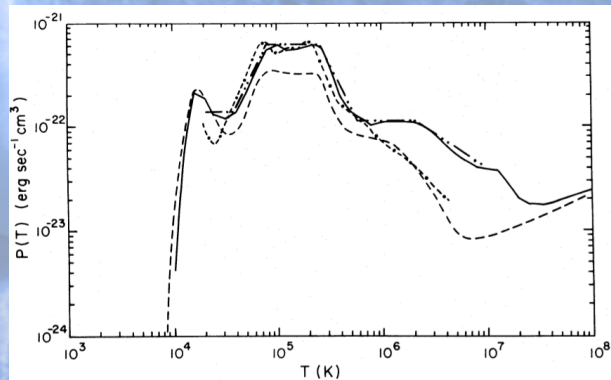
Conteúdo

- I - Equilíbrio térmico na atmosfera solar
- II - Ondas MHD
- III - Observação e diagnóstico de Ondas MHD
- IV - Extrapolação do campo magnético
- V - Regiões em análise

I. Equilíbrio térmico na atmosfera solar



Aumento da temperatura na região de transição e coroa solar.
Qual é o motivo disso???



Perda de energia na cromosfera, região de transição e coroa solar.
É preciso de uma fonte de energia mecânica de calor para manter as temperaturas entre 10^4 e 10^6 K

[Rosner, Tucker e Vaiana 1978]
e [McWhirter, Thonemann e Wilson 1975]

Ondas MHD podem aquecer regiões altamente magnetizadas

Resumo da situação

- Cromosfera e coroa perdendo energia por radiação
- É preciso de uma fonte mecânica de calor para manter o equilíbrio térmico [Walsh e Ireland 2003]
- Candidatas: Ondas MHD [Nakariakov e Verwichte 2005]
- A energia dissipada pelo amortecimento das ondas MHD podem balancear a perda de energia por radiação [Moortel 2009]
- Pontos de reconexão magnética sendo perturbados por ondas MHD rápidas [Bulanov e Syrovatskii 1980]
- Aceleração de elétrons nos pontos X de reconexão magnética devido à turbulência produzida por ondas MHD [Burge, Petkaki e MacKinnon 2012]

II. Ondas MHD

Perturbações de pequenas amplitudes que propagam-se ao longo das linhas de campo magnético \mathbf{B} , através da interação entre a inércia do fluido e a força restauradora da pressão [Ferraro e Plumpton 1966].

Relação de dispersão da ondas MHD

$$\omega^4 - \omega^2 k^2 (c_s^2 + v_A^2) + c_s^2 v_A^2 k^4 \cos^2 \theta_B = 0, \quad (1)$$

onde v_A é a velocidade Alfvén ($v_A = \frac{B_0}{\sqrt{4\pi\rho_0}}$) [Ferraro e Plumpton 1966].

A solução de (1) representa a velocidade de fase v_{ph} , na direção do vetor de onda \mathbf{k} , em função do ângulo de propagação θ_B [Priest 1982].

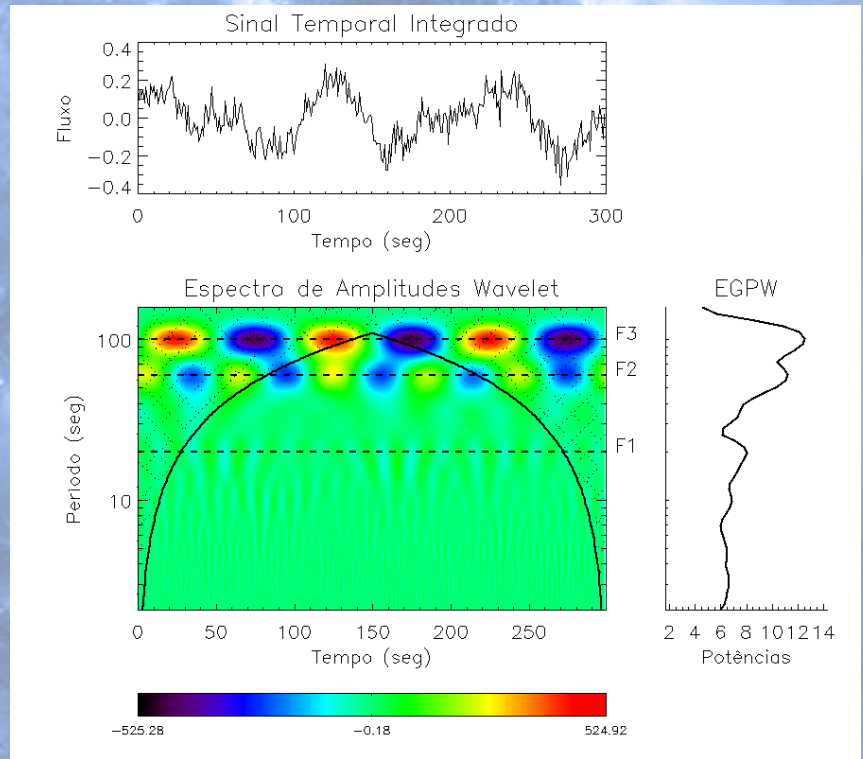
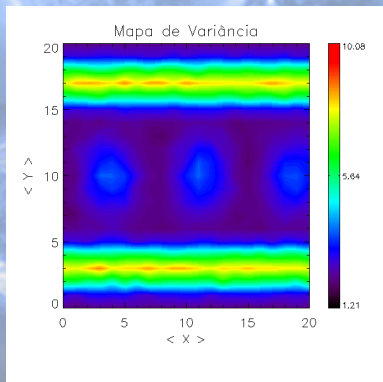
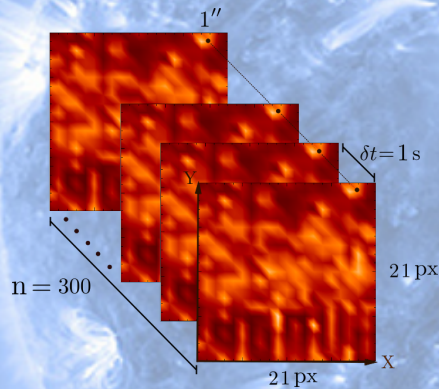
$$v_{ph} = \frac{\omega}{k} = \left[\frac{1}{2}(c_s^2 + v_A^2) \pm \frac{1}{2} \sqrt{c_s^4 + v_A^4 - 2c_s^2 v_A^2 \cos 2\theta_B} \right]^{1/2}$$

Modo Rápido

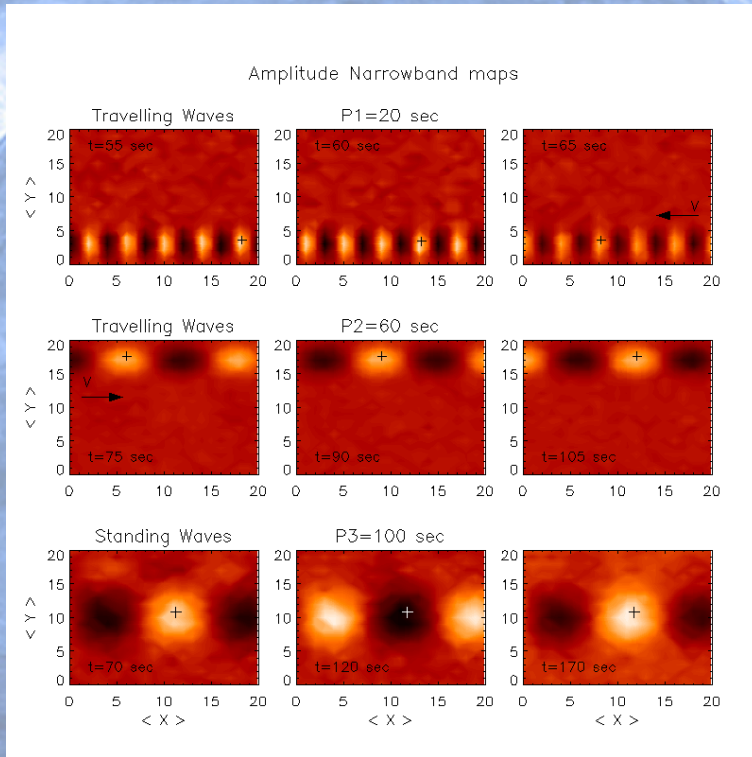
Modo Lento

III. Observação e diagnóstico de Ondas MHD

Determinar espacial e temporalmente fontes de oscilação em sequências temporais de imagens 2D.



Mapas dinâmicos para um cubo de dados sintético

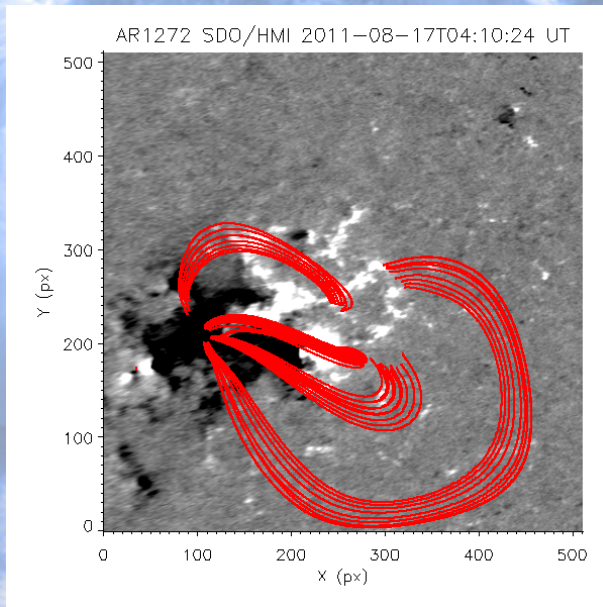


Mapas dinâmicos para ondas com períodos de 100, 60 e 20 segundos encontradas no cubo de dados sintético.

IV. Extrapolação do campo magnético

Project: w_mag.pro

Autor: Joaquim Costa



- Extrapola o campo magnético em um magnetograma dado usando a teoria force-free
- Corrige a componente do campo magnético na linha de visada
- Plota linhas de campo
- Permite mostrar as linhas de campo em diferentes posições no Sol (limbo leste, centro, limbo oeste)

Referências

- [Bulanov e Sirovatskii 1980]BULANOV, S. V.; SYROVATSKII, S. I. Mhd oscillations and waves near a magnetic null line. *Soviet Journal of Plasma Physics*, v. 6, p. 661-667, nov 1980.
- [Burge, Petkaki e MacKinnon 2012]BURGE, C. A.; PETKAKI, P.; MACKINNON, A. L. Particle acceleration in the presence of weak turbulence at an x-type neutral point. *Solar Physics*, v. 280, p. 575-590, oct 2012.
- [Ferraro e Plumpton 1966]FERRARO, V. C. A.; PLUMPTON, C. *An introduction to magneto-fluid mechanics*. Clarendon P., 1966. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=3fJQAAAAMAAJ>>.
- [McWhirter, Thonemann e Wilson 1975]MCWHIRTER, R. W. P.; THONEMANN, P. C.; WILSON, R. The heating of the solar corona. ii - a model based on energy balance. *Astronomy and Astrophysics*, v. 40, p. 63-73, apr 1975.
- [Moortel 2009]MOORTEEL, I. de. Longitudinal waves in coronal loops. *Space Science Reviews*, v. 149, p. 65-81, dec 2009.
- [Nakariakov e Verwichte 2005]NAKARIAKOV, V. M.; VERWICHTE, E. Coronal waves and oscillations. *Living Reviews in Solar Physics*, v. 2, n. 3, 2005. Disponível em: <<http://www.livingreviews.org/lrsp-2005-3>>.
- [Priest 1982]PRIEST, E. R. *Solar magneto-hydrodynamics*. Hingham: D. Reidel Pub. Co., 1982. 74P p.
- [Rosner, Tucker e Vaiana 1978]ROSNER, R.; TUCKER, W. H.; VAIANA, G. S. Dynamics of the quiescent solar corona. *The Astrophysical Journal*, v. 220, p. 643-645, mar 1978.

[Walsh e Ireland 2003] WALSH, R. W.; IRELAND, J. The heating of the solar corona. *The Astronomy and Astrophysics Review*, v. 12, p. 1–41, 2003.