

O ESPECTRÓGRAFO CALLISTO-BR E AS INVESTIGAÇÕES DE EMISSÕES SOLARES EM ONDAS MÉTRICAS

Rafael D. C. Silva¹, Caius L. Selhors², Francisco C. R. Fernandes³

Universidade do Vale do Paraíba / IPD

¹rafaeldouglasc@yahoo.com.br, ²caius@univap.br, ³guga@univap.br

Resumo- Este artigo descreve o espectrógrafo CALLISTO-BR (sigla para “Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory”). O instrumento é composto de dois rádio-espectrógrafos (nas polarizações lineares vertical e horizontal) em operação regular em Cachoeira Paulista, desde o início de 2010. Os instrumentos fazem parte da rede e-CALLISTO, formada atualmente de 16 espectrógrafos distribuídos ao redor do mundo, para monitoramento contínuo da atividade solar em ondas métricas, na faixa de frequência de 45 – 870 MHz. O CALLISTO-BR é, atualmente, o único elemento da rede em operação na América do Sul. Portanto, preenche uma lacuna no monitoramento solar contínuo. As principais características do CALLISTO-BR e as observações iniciais são apresentadas, incluindo as primeiras explosões solares registradas. São ainda discutidas as possíveis contribuições do instrumento para as investigações solares em ondas métricas, com possíveis aplicações para estudos de ejeções de massa coronal (CME) solar e do clima espacial.

Palavras-chave: CALLISTO, radio-espectrógrafo solar, ondas métricas, “flares” solares, CMEs

Área do Conhecimento: Astronomia

Introdução

Grandes progressos têm ocorrido no estudo dos fenômenos solares, principalmente devido às observações realizadas em terra e no espaço, por meio de instrumentos a bordo de satélites.

No entanto, ainda existem fenômenos solares que não são completamente compreendidos. Em particular, os detalhes dos processos de liberação de energia, aceleração e transporte de partículas associados a fenômenos eruptivos solares, como os “flares” e as ejeções coronais de massa (CME) ou plasmóides. A tais fenômenos geralmente estão associadas emissões em rádio frequências, como explosões solares em ondas métricas e decimétricas (por exemplo, PICK et al., 1990; HAISCH et al., 1991; KAHLER, 1992; HUDSON; RYAN, 1995; BASTIAN et al., 1998).

As observações solares em rádio frequências métricas e decimétricas podem ser usadas como diagnóstico de processos físicos do Sol (MCLEAN AND LABRUM, 1985). Desta forma, instrumentos de monitoramento da atividade solar nestas faixas de frequência, como os rádio-espectrógrafos e os rádio-interferômetros, são fundamentais. Entre eles, podemos citar: o BSS (“Brazilian Solar Spectroscope”) (FERNANDES, 1992; 1997; SAWANT et al., 2001), o BDA (“Brazilian Decimetric Array”) (SAWANT et al., 2003; 2005; 2010) e o CALLISTO (“Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory”) (BENZ et al., 2005), descrito no presente trabalho.

O NURAS – Núcleo de Redução e Análise de dados Solares, da UNIVAP, vem promovendo a investigação de fenômenos solares a partir de dados em ondas decimétricas e métricas.

O Projeto CALLISTO

O projeto CALLISTO, posteriormente batizado de e-CALLISTO, foi planejado durante o IHY (Ano Heliofísico Internacional), em 2007; e concebido como uma rede de rádio espectrógrafos de baixo custo, distribuída ao redor do mundo, para o monitoramento contínuo (24 horas) da atividade solar (BENZ et al., 2005). Para esta finalidade, estão sendo implementados espectrógrafos CALLISTO em diferentes localidades operando na faixa de frequências métricas, de 45 a 870 MHz. Mais informações sobre o projeto e-CALLISTO são encontradas no endereço eletrônico: <http://www.w.exp-astro.phys.ethz.ch/astro1/Users/cmonstei/instrument/callisto/index.php>.

Atualmente, a rede e-CALLISTO (BENZ et al., 2009) está constituída por 16 espectrógrafos em operação regular, incluindo os dois instrumentos instalados no Brasil, 6 instalados, que devem entrar em operação em breve e outros 4 em processo de estudo para instalação (MONSTEIN et al., 2010).

A Figura 1 mostra a distribuição dos espectrógrafos da rede e-CALLISTO ao redor do mundo.

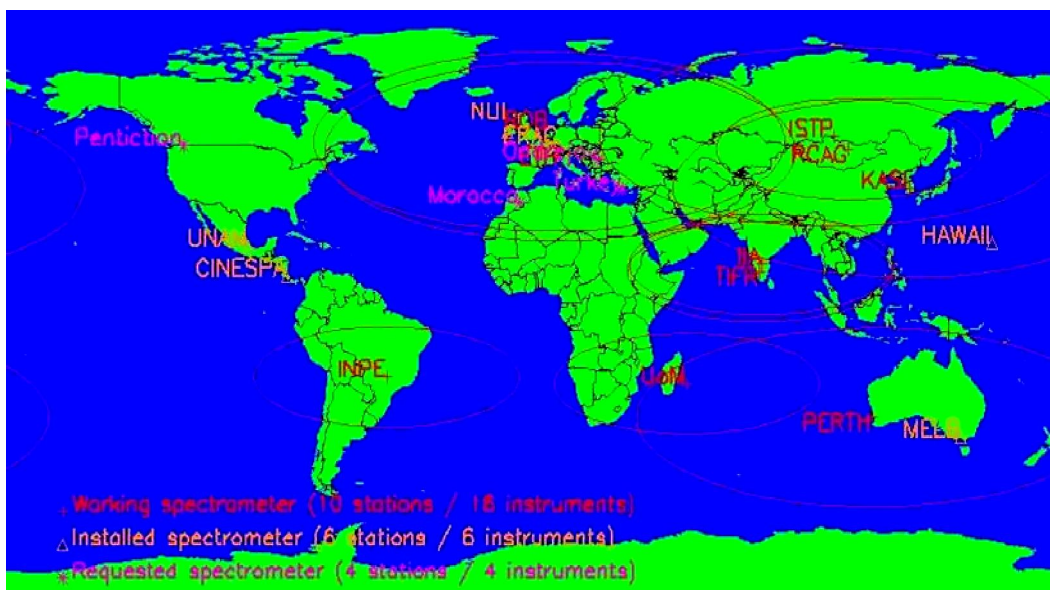


Figura 1– Distribuição dos espectrógrafos e-CALLISTO ao redor do mundo (MONSTEIN, 2010).

O espectrógrafo CALLISTO-BR

O CALLISTO-BR é constituído de 2 espectrógrafos “gêmeos”, um para cada polarização linear (horizontal e vertical), que operam na faixa de frequência de 45 a 870 MHz, em conjunto com antenas log-periódicas mostradas na Figura 2. A Tabela 1 apresenta as principais especificações do receptor do CALLISTO-BR.



Figura 2– Antenas dos espectrógrafos CALLISTO-BR instaladas em janeiro de 2010 e em operação regular em Cachoeira Paulista.

Inicialmente, eles foram instalados em São José dos Campos, em outubro de 2009, onde foram testados. Em janeiro de 2010, o instrumento foi transferido para o campus do INPE, em Cachoeira Paulista, onde estão em operação regular desde então, fazendo parte da rede mundial e-CALLISTO.

Tabela 1 – Parâmetros do receptor CALLISTO

Parâmetro	Especificação
Banda de Frequência	45 – 870 MHz
Resolução Espectral	62,5 KHz
Largura de banda	300 KHz/-3 dB
Faixa Dinâmica	-120 a -20 dBm
Sensibilidade	(25 +/-1) mV/dB
Polarização	Linear
Figura de ruído	< 10dB
Frequência de amostragem	800 a 1000 am/s
Número de canais	1 - 500
Voltagem	(12 +/- 2) V / 225 mA
Peso	~ 800 gramas
Dimensões	110 x 80 x 205 mm

A Figura 3 mostra os receptores e o sistema de aquisição dos dados do CALLISTO-BR em funcionamento durante observações solares realizadas recentemente.

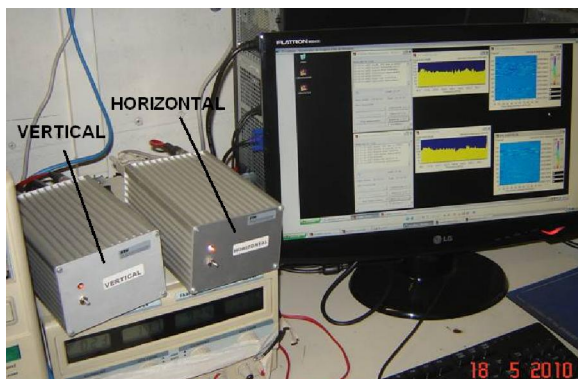


Figura 3– Receptores (Vertical e Horizontal) do CALLISTO-BR durante a aquisição de dados solares.

Cabe ressaltar que a localização do CALLISTO-BR é bastante importante para a rede, pois além da localização no hemisfério Sul, as observações preenchem uma lacuna no monitoramento contínuo do Sol, ou seja, há um intervalo de tempo no qual apenas o instrumento brasileiro está monitorando a atividade solar.

Observações iniciais

Desde que foi colocado em operação regular para o monitoramento solar, em janeiro de 2010, o CALLISTO-BR já registrou diversas emissões solares. A Figura 4 mostra o espectro dinâmico da “primeira luz” do CALLISTO-BR, desde o início de sua operação em Cachoeira Paulista. As Figuras 5 e 6 apresentam espectros dinâmicos de outras rádio-emissões registradas.

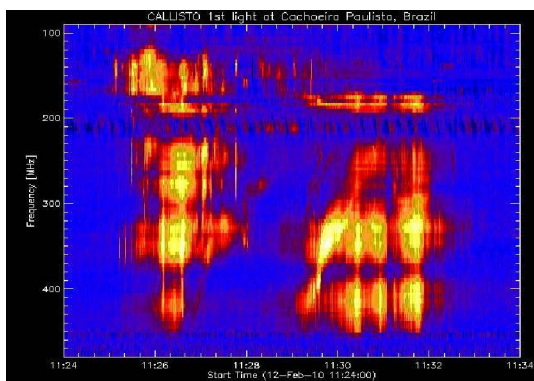


Figura 4– Espectro dinâmico de estruturas complexas na radio emissão solar registradas na faixa de 100-500 MHz pelo CALLISTO-BR, em 12 de fevereiro de 2010 (~11:24 UT).

A identificação e catalogação das rádio-emissões registradas pelo CALLISTO-BR até o momento está em andamento.

A lista dos eventos registrados pelos vários espectrógrafos da rede pode ser acessada em: <http://www.exp-astro.phys.ethz.ch/astro1/Users/cmonstei/instrument/callisto/Appdocs/FlaresCallistoNetwork.htm>.

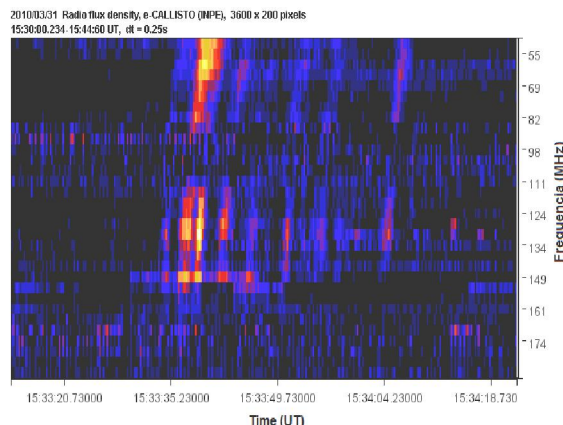


Figura 5– Espectro dinâmico de emissões solares tipo III registradas pelo CALLISTO-BR, em 31 de março de 2010 (~15:33 UT).

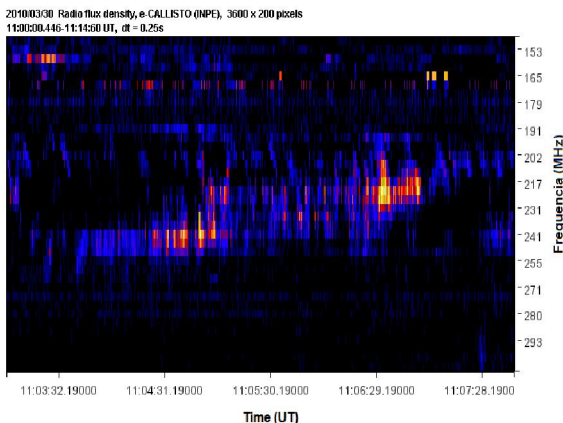


Figura 6– Espectro dinâmico de estruturas finas solares registradas pelo CALLISTO-BR, em 30 de março de 2010 (~11:03 UT).

Ejeção coronal de massa (CME)

As ejeções coronais de massa (CMEs) tornaram-se o principal foco de investigação sobre o clima espacial e relações solar-terrestres nos últimos anos (KAHLER, 1992; e referências de CROOKER et al., 1997). Em observações de CMEs em rádio-frequências, o disco solar não é ocultado como nas observações com coronógrafos e, portanto, CMEs sobre o disco podem ser observadas através dos radio-heliógrafos, sendo detectadas mesmo nos estágios iniciais.

Schwenn (2007) apresentou uma lista das principais questões ainda em aberto relacionadas

ao melhor entendimento das CMEs (o que chamou de “Catálogo de Ignorância”). Entre as questões discutidas, está a necessidade de evidências observacionais, incluindo observações em ondas de rádio, para diagnóstico da localização e dos processos de reconexão magnética e do deslocamento das estruturas eruptivas e ondas de choque.

Neste sentido, as observações solares com o e-CALLISTO podem ser analisadas juntamente com imagens nas mesmas frequências do Rádio Heliógrafo de Nançay (NRH) para a investigação de deslocamento de estruturas associadas a ejeções de massa coronais (GOPALSWAMY, 2006).

Esforços têm sido feitos para detectar assinaturas em rádio frequências associadas com CME (CLASSEN E AURASS, 2002; SHANMUGARAJU et al., 2003; SHANMUGARAJU et al., 2005; CLIVER et al., 2005; CECATTO et al., 2005). Tais investigações deverão ser ampliadas com rádio diagnóstico em ondas métricas do CALLISTO-BR e podem ser complementadas com observações espectroscópicas e interferométricas e a possível determinação da localização da região de disparo de uma dada CME.

As observações solares com os espectrógrafos CALLISTO possibilitam o diagnóstico e a investigação de possíveis assinaturas em rádio frequências métricas dos fenômenos associados com ejeções e deslocamento de plasmóides nas estruturas magnéticas dos loops solares (BORGAZZI E COSTA, 1998; BORGAZZI E COSTA, 2005).

O Projeto CALLISTO e as investigações solares

As rádio-emissões solares representam a assinatura de diversos fenômenos explosivos, comumente chamados de “bursts”, que podem ser divididos em:

- Tipo I (tempestades de ruído): fontes de rádio emissão de longa duração (de horas a dias), com temperaturas de brilho entre 10^7 e 10^9 K, atribuídas a elétrons acelerados com energias de poucos keV, dentro de um arco magnético de larga escala, que conecta regiões ativas em áreas distantes do Sol (MÉSZÁROSOVÁ et al., 2009);

- Tipo II: *bursts* observados em frequências entre 0.1 e 100 MHz, atribuídos a ondas de choque e ejeção de plasmóides (SHANMUGARAJU et al., 2009);

- Tipo III: tipo mais comum de *bursts* associados com explosões em ondas métricas e decimétricas, observados geralmente de 0,1 a 3000 MHz, e atribuídos a emissão de plasma de feixes de elétrons se deslocando ao longo das linhas de campo magnético, que apresentam energia cinética entre 10 e 100 keV e velocidades

típicas da ordem de $0,3 c$ (SAWANT et al., 1994; FERNANDES et al., 1996; MELENDEZ et al., 1999; MÉSZÁROSOVÁ, 2008);

- Tipo IV: radiação de uma banda larga no contínuo, com duração de aproximadamente 1 hora após a fase impulsiva de uma explosão (fase pós-flare) (MÉSZÁROSOVÁ et al., 2009), atribuída a emissão síncrotron de elétrons energéticos, aprisionados dentro de nuvens magnéticas, que são emitidos para o espaço com velocidades entre 10^5 e 10^6 m/s;

- Centimétricos: radiação impulsiva no contínuo, em ondas centimétricas, que duram poucos minutos e que, em micro-ondas, são atribuídos à emissão giro-síncrotron de elétrons acelerados a energias de 100 a 1000 keV, localizados acima do topo dos arcos coronais.

As emissões do tipo II e III dependem da frequência de plasma, que por sua vez, está associada à densidade local da coroa. Assim, a partir do estudo dos diagramas de espectro dinâmico, pode-se inferir sobre a direção de propagação do plasma (STIX, 2004). Portanto, é notável que estas observações podem contribuir no estudo e previsão de CMEs (GOPALSWAMY, 2006).

Considerações Finais

A principal contribuição do projeto CALLISTO-BR é possibilitar observações solares, na faixa métrica de 45 a 870 MHz, contribuindo para o monitoramento solar contínuo estabelecido pela rede e-CALLISTO, uma vez que a localização do instrumento brasileiro é privilegiada.

A análise das emissões solares registradas em ondas métricas pelo CALLISTO-BR foi iniciada recentemente. Inicialmente as explosões estão sendo catalogadas e a atividade solar associada em diferentes comprimentos de onda está sendo identificada. Os dados dos demais espectrógrafos e-CALLISTO estão disponíveis e permitem investigações em uma ampla amostra de rádio-emissões registradas na faixa de ondas métricas.

A análise dos dados registrados, como os apresentados nas Figuras 4, 5 e 6, permite investigações de questões ligadas à física solar e consolidação do NURAS pela participação da UNIVAP no projeto de cobertura global do monitoramento solar. Entre os resultados das análises propostas destaca-se o rádio diagnóstico de ondas de choque associadas à ejeção de massa coronal e a observação de estruturas finas associadas com tempestades de ruído. Futuramente, poderão contribuir também para estudos do clima espacial.

Agradecimentos

RDCS agradece à CAPES pela bolsa de Mestrado. As pesquisas realizadas pelo NURAS são apoiadas pelo CNPQ (480045/2008-9).

Referências

- BASTIAN, T.S.; BENZ, A.O.; GARY, D.E. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, V.36, p.131, 1998.
- BENZ, A.O.; MONSTEIN, C.; MEYER, H., CALLISTO - A New Concept for Solar Radio Spectrometers, *Sol. Phys.*, V.226, p.143-151, 2005.
- BENZ, A.O.; MONSTEIN, C.; MEYER, H.; MANOHARAN, P.K.; RAMESH, R.; ALTYNTSEV, A.; LARA, A.; PAEZ, J.; CHO, K.-S. A World-Wide Net of Solar Radio Spectrometers: e-CALLISTO, *Earth, Moon and Planets*, V.104, n.1-4, p.277-285, 2009.
- BORGAZZI, A.; COSTA, A., *Journal of Atmosph. and Solar-Terr. Phys.*, V.67, n.17-18, p.1715-1719, 1998.
- BORGAZZI, A.; COSTA, A., *Astron. Astrophys.*, V.441, n.1, p. 327-335, 2005.
- CECATTO, J.R.; SOARES, A.C.; FERNANDES, F.C.R.; MADSEN, F.R.H.; ANDRADE, M.C.; SAWANT, H.S. Radio emission observed in decimetric Waves Associated with the onset of CMES. *Journal of Atmosph. and Solar-Terr. Phys.*, 2005.
- CLASSEN, H.T.; AURASS, H. On the Association between Type II Radio Bursts and CMEs. *Astron. & Astrophys.*, V.384, p. 1098 -1106, 2002.
- CLIVER, E.W.; NITTA, N.V.; THOMPSON, B.J.; ZHANG, J. Coronal Shocks of November 1997 Revisited: The CME-Type II Timing Problem. *Solar Phys.*, V.225, p. 105 -139, 2005.
- CROOKER, N.; JOSELYN, J.; FEYNMAN, J., Proc. Chapman Conference: Coronal Mass Ejections: Causes and Consequences, AGU Monograph, V.99, 1997.
- FERNANDES, F.C.R., Dissertação de Mestrado, INPE, 1992.
- FERNANDES, F. C. R.; SAWANT, H. S. Physical Parameters of the Exciter of the Decimetric Type III Bursts. *Proc. 4th Brazilian Meeting on Plasma Phys.*, p.125, 1996.
- FERNANDES, F.C.R., Tese de Doutorado, INPE, 1997.
- GOPALSWAMY, N. Radio Observations of Solar Eruptions, *Solar Physics with the Nobeyama Radioheliograph*, Proceedings of Nobeyama Symposium, p.81-94, 2006.
- HAISCH, B.; STRONG, K.T.; RODONO, M., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, V.29, p.275-324, 1991.
- HUDSON, H.; RYAN, J., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, V.35, p.239-282, 1995.
- KAHLER, S.W., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, V.30, p.113-141, 1992.
- MELENDEZ, J.L., SAWANT, H.S.; FERNANDES, F.C.R.; BENZ, A.O. Statistical analysis of high-frequency decimetric type III bursts. *Solar Phys.*, V.187, p.77-88, 1999.
- MÉSZÁROSOVÁ, H., KARLICKÝ, M., SAWANT, H.S., FERNANDES, F.C.R., CECATTO, J.R., ANDRADE, M.C. Solar Decimetric Type III Bursts In Semi-Closed Magnetic Field Structures. *Astron. & Astrophys.*, V.484, p.529 - 536, 2008.
- MÉSZÁROSOVÁ, H.; SAWANT, H.S.; CECATTO, J.R.; RYBÁK, J.; KARLICKÝ, M.; FERNANDES, F.C.R.; DE ANDRADE, M.C.; JIRICKA, K. Coronal fast wave trains of the decimetric type IV radio event observed during the decay phase of the June 6, 2000 flare. *Adv. in Space Res.*, V.43, p.1479-1483, 2009.
- MCLEAN, D.J.; LABRUM, N.R. *Solar Radiophysics: Studies of Emission from the Sun at Metre Wavelengths*. Cambridge Univ. Press, 1985.
- MONSTEIN C., First time 24h coverage of e-Callisto, CESRA Meeting, 2010 (Comunicação pessoal).
- PICK, M.; KLEIN, K.L.; TROTTEY, G., *Ap.J. Suppl. Series*, 73, p. 165, 1990.
- SAWANT, H.S.; SUBRAMANIAN, K.R.; FARIA, C.; FERNANDES, F.C.R.; SOBRAL, J.H.A.; CECATTO, J.R.; ROSA, R.R.; VATS, H.O.; NERI, J.A.C.F.; ALONSO, E.M.B.; MESQUITA, F.P.V.; PORTEZANI, V.A.; MARTINON, A.R.F., *Solar Phys.*, V.200, n.1/2, p.167-176, 2001.
- SAWANT, H.S.; NERI, J.A.C.F.; FERNANDES, F.C.R.; CECATTO, J.R.; SANKARARAMAN, M.R.; FARIA, C.; STEPHANY, S.; ROSA, R.R.; ANDRADE, M.C.; ALONSO, E.M.B.; LUDKE, E.;

SUBRAMANIAN, K.R.; RAMESH, R.;
SUNDARARAJAN, M.S.; ANANTHAKRISHNAN,
S.; SWARUP, G.; BOAS, J.W.V.; BOTTI, L.C.L.;
MORON, C.E.; SAITO, J.H. *Adv. Space Res.*,
V.32, p.2715, 2003.

- SAWANT, H.S.; BDA TEAM, INPE-13051-
RPI/252, 2005.

- SAWANT, H.S.; GOPALSWAMY, N.; ROSA,
R.R.; SYCH, R.A.; FERNANDES, F.C.R.;
CECATTO, J.R.; COSTA, J.E.R. The Brazilian
Decimetric Array and Space Weather. *Journal of
Atmosph. and Solar-Terr. Phys.*, 2001 (aceito).

- SHANMUGARAJU, A.; MOON, Y.J.; DRYER, M.;
UMAPATHY, S. Statistical Characteristics of CMEs
and Flares Associated with Solar Type II Radio
Bursts. *Solar Phys.*, V.217, p. 301-317, 2003.

- SHANMUGARAJU, A.; MOON, Y.J.; KIM, Y.H.;
DRYER, M.; UMAPATHY, S. Re-evaluation of the
Flare-Type II – CME Association. *Solar Phys.*,
V.225, p. 141-155, 2005.

- SHANMUGARAJU, A.; MOON, Y.J.; VRSNAK, B.
Type II Radio Bursts with High and Low Starting
Frequencies. *Solar Phys.*, V.254, p. 297-310,
2009.

- SCHWENN, R., Proc. VIII COLAGE, 2007.

- STIX, M. The Sun: an introduction. 2nd ed.
Berlin, Germany: Springer, 2004.