

**CBPF - CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS**

**Rio de Janeiro**

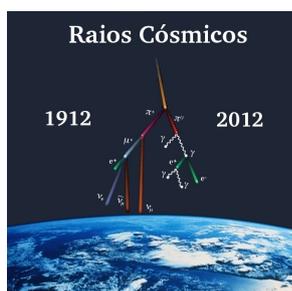
Notas de Física

CBPF-NF-009/12

April 2012

## A pulsação da Terra

Marcos de Castro Carvalho, Gerson Silva Paiva & Eduardo Novaes Hering



Minist3rio da  
**Ci3ncia, Tecnologia  
e Inova33o**



## **A pulsação da Terra**

**Marcos de Castro Carvalho, Gerson Silva Paiva e Eduardo Novaes Hering**

Departamento de Física Experimental, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Rua Dr. Xavier Sigaud, 150, 22290-180, Rio de Janeiro, Brasil.

---

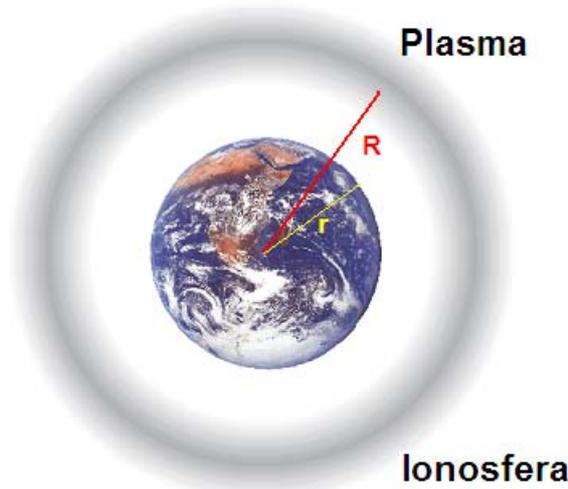
### **RESUMO**

O espaço delimitado pela terra e a ionosfera forma um guia de ondas que tem sua frequência natural característica (frequência de ressonância) na frequência 7,83 pulsações por segundo, esta frequência é fixa e vai continuar sendo ao longo da vida da terra. A frequência da pulsação da terra tem algumas ligações empíricas com os sistemas biológicos e coincide com a frequência das ondas alfa do cérebro humano, provavelmente por uma adaptação humana ao ambiente eletromagnético no decurso da evolução da espécie. O método utilizado para medir esta frequência atualmente tem um papel bastante relevante nas questões atuais na pesquisa climática, pois através desta técnica pode-se mensurar as atividades globais relacionada a atividades eletromagnéticas como tempestades que podem ser localizadas ao logo do planeta e uma correlação entre temperaturas tropicais durante um ciclo El-Niño e La-Ninã e a amplitude dessa ressonância. Também se pode prever a variação do aquecimento global, Detecção de Descargas Atmosféricas e atualmente um aliado potencial nos estudos de fenômenos luminosos transitórios (Sprites) ou fenômenos circulares de luz na ionosfera denominados de Elfos.

### **INTRODUÇÃO**

Os raios cósmicos, oriundos da radiação solar e de outras fontes cósmicas ao atingir o topo de nossa atmosfera faz um verdadeiro espetáculo de por inveja ao mais avançado laboratório de física de partículas já projetado. A colisão com partículas com a atmosfera faz materializar novas partículas que ionizam uma intensa área, denominada de ionosfera, cujo nome vem da ionização destas partículas, formando um plasma com cerca de 500 km de espessura equidistante da superfície terrestre de cerca de 80 km de altitude.

A superfície da terra e a camada da ionosfera formam um capacitor concêntrico com uma diferença de potencial entre estas partes é estimada em 200 mil Volts, isolado por um dielétrico bastante espesso de ar (Fig .1).



**Fig.1 - Ilustração do guia de ondas que é formado pela terra e a ionosfera condutora (plasma), r significa a terra raio, R-r ≈ 80 km.**

Pode-se calcular rapidamente a frequência de ressonância a partir do pressuposto de que em guias de ondas esféricos concêntricos o comprimento de onda de ressonância deve ser uma parte inteira da circunferência da terra. logo:

$$f_n = \frac{c}{\lambda_n} = \frac{c}{2\pi r_e} n \approx 7,5n [Hz] \quad (1)$$

n=1 representa a frequência fundamental, os n cresce com crescimento das ondas harmônicas.

Então a radiação eletromagnética permanece presa entre estas duas placas propagando-se ao redor do planeta num regime estacionário, ondas que tem uma freqüência bem determinada de 7,5 Hz.

Em 1952, Winfried Otto Schumann, renomado Físico da Universidade Técnica de Munique, publicou seu primeiro artigo sobre essas ondas eletromagnéticas confinadas no guia de ondas formado pela superfície da Terra e a ionosfera. A partir desta publicação estas ondas passaram a serem conhecidas como ondas de Ressonância Schumann. Ele calculou as frequências próprias matematicamente de

uma forma geral, utilizando a geometria esférica e refinando os cálculos chegou a:

$$f_n = \frac{V(\sigma)}{2\pi r_e} \sqrt{n(n+1)} \approx 6.0 \sqrt{n(n+1)} [Hz] \quad (2)$$

Como a circunferência da Terra é de 40 mil km, as ondas eletromagnéticas, que se propagam a velocidade da luz (300.000 km/s), podem dar 7,5 voltas no planeta em apenas um segundo. Isto estabelece o valor básico para a frequência de ressonância em 7,5 Hz. Experimentalmente a frequência fundamental de Schumann tem um valor de 7,8 Hz.

A EQ.2 inclui o amortecimento das ondas, devido à condutividade finita do limite "superior" do guia de ondas, denominada de camada D da ionosférica e a velocidade propagação V é dependente da condutividade  $\sigma$ , e esta em torno de 20% inferior a velocidade da luz. A condutividade no limite inferior da ionosfera entre 70 - 90 km variam entre  $10^{-5}$  a  $10^{-3}$  S/m, a condutividade média do solo ao nível do mar é em torno de  $10^{-3}$  S/m e praticamente constante não contribuindo para o amortecimento das ondas.

A velocidade da onda no meio é:  $V = C / N$ , onde o índice de refração complexo pode ser escrito em uma primeira aproximação como:

$$n = \sqrt{1 + i \frac{c\Delta_i}{\omega h_1}} \quad (3)$$

Onde  $\Delta_i$  é o inverso do índice de refração da ionosfera, para uma altura fixa  $h_1$  (cerca de 70-80 km); c é a velocidade da luz. A relação entre este inverso do índice de refração e da condutividade  $\sigma_0$  da ionosfera é dada comona EQ.4 assumindo que a superfície da Terra é um condutor perfeito.

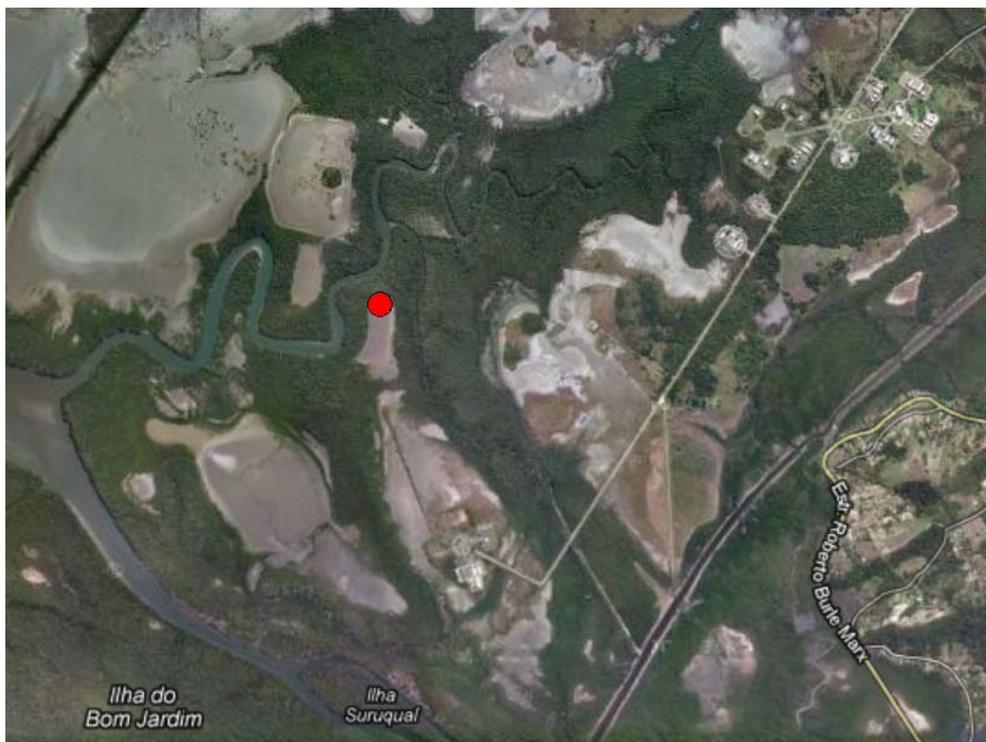
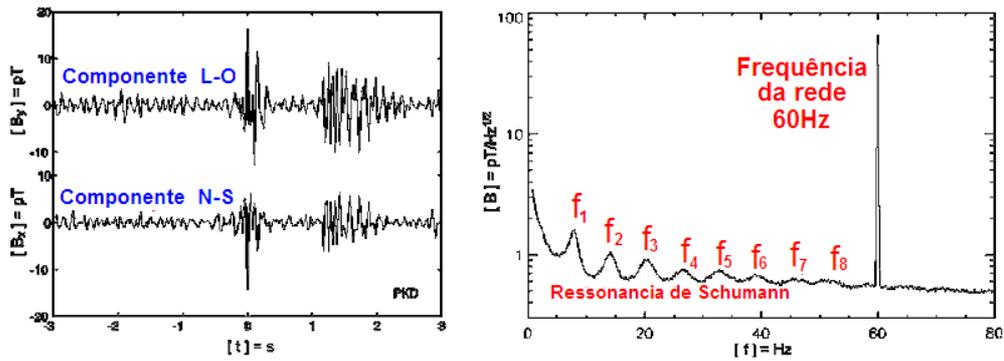
$$\Delta_i = \left(1 + i \frac{\sigma_0}{\epsilon_0 \omega}\right)^{-1/2} \quad (4)$$

Em uma determinação mais real tem-se uma condutividade dependente da altura, para duas escalas limites de alturas (H1, H2), o índice de refração assume a forma:

$$n = \sqrt{\frac{h_2(\omega) - i\frac{\pi}{2}H_2}{h_1(\omega) - i\frac{\pi}{2}H_1}} \quad (5)$$

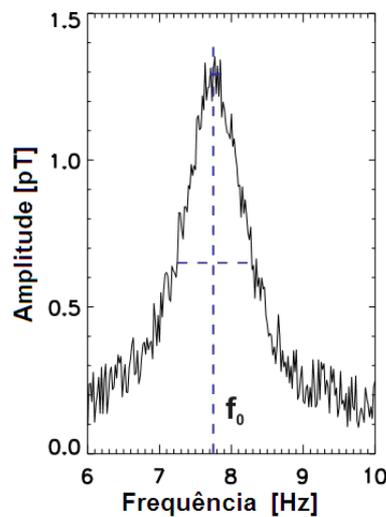
O limite condutividade  $H_1$  é aproximadamente localizado a uma altitude de 50 km, a fronteira de reflexão  $H_2$  em 75 a 85 km dependendo da densidade de elétrons no perfil da ionosfera. O índice de refração complexo depende da frequência da onda  $\omega$ , a frequência central e a largura do espectro (amortecimento) são por sua vez relacionadas com a condutividade.

A FIG 2 mostra o espectro em função do tempo da ressonância medido em Guaratiba-RJ para os 8 primeiros modos



**Fig. 2 Sinal no tempo (à esquerda): (b) os espectros dos 8 primeiras harmônicos da Ressonância Schumann medidos na Reserva Ecológica de Guaratiba (a baixo) que é cercada por cadeia de montanhas. Os sinais da frequência da rede elétrica são muito mais fortes do que a ressonância de Schumann provavelmente oriundas do Centro Tecnológico do Exército a 8Km de distância. O aumento do espectro de frequências <5 Hz é causado pela chamada micropulsões magnéticas que se originam na magnetosfera da Terra.**

Uma análise de cada pico podemos levantas algumas características que são a frequência dada pela linha que passa pelo centro do pico, a amplitude e a largura do pico a meia altura que ira fornecer a informação do amortecimento da onda em questão.



**Fig. 3 O espectro para cada modo de (aqui o fundamental) identificado pelos três parâmetros: frequência  $f_0$ , Amplitude e largura a meia altura.**

## **PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

A Ressonância Schumann envolvem medidas de ondas eletromagnéticas de intensidade bastante baixa, as medidas tanto das componentes elétricas bem como as componentes magnéticas são bastante ruidosas. Um tratamento adequado pode-se filtrar as medidas e reduzir a relação sinal ruído. O componente do potencial elétrico pode ser medida em função do tempo entre uma placa aterrada em contato com o solo e um prato metálico ou uma esfera experimentalmente montado a uma altura de alguns metros do solo.

Uma vez que a atmosfera tem uma impedância muito alta na ordem de  $10^{14} \Omega$ , as medidas só podem ser feitas com amplificadores

que tenham alta impedância de entrada e operar na banda de frequência em torno de 10Hz. As medidas são muito ruidosas por questões diversas tipo efeitos de temperatura nos condutores, efeito foto elétricos, variação do campo eletromagnético, umidade etc.

As medidas do campo magnético é a preferida em função da qualidade e repetibilidade dos resultados, mas são necessárias bobinas de indução fixadas horizontalmente em duas direções perpendiculares uma a outra, normalmente orientadas na direção norte-sul e outra leste-oeste, de forma a possibilitar a medida da polarização das ondas. O sinal é de intensidade da ordem de 0,001-1 pT ( $10^{-12}$  Tesla), onde as bobinas necessitam ter mais de 10.000 espiras e com um núcleo formado de material especial de alta permeabilidade (ferritas especiais). As medidas devem ser feitas afastadas de áreas industriais devido à interferência da frequência da rede em 60 Hz e seus harmônicos. Evita-se utilizar filtragem de banda estreita que em geral produzem distorções no sinal detectado.

Os componentes eletrônicos que são partes do equipamento de registro devem ser colocados a distancia e devidamente blindados e aterrados eliminando possíveis interferências. O sinal deve ser trabalhado computacionalmente onde com um software adequado elimina-se a sujeira das medidas. Um padrão que pode ser utilizado como padrão da frequência é o sinal obtido no sistema de medição da estação na Antártida. A Fig. 4 mostra as bobinas, bem para medições em campo.



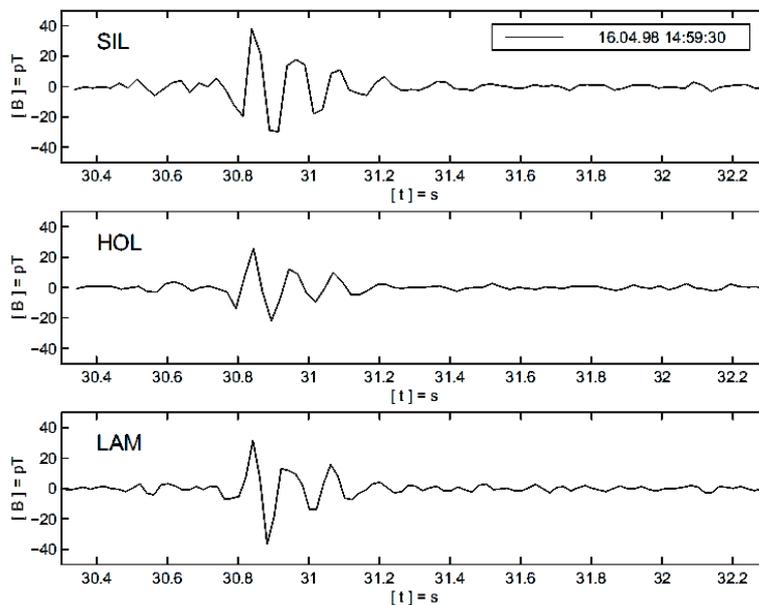
**Fig. 4 – (a) Bobina disposta verticalmente para a medida da componente vertical da ressonância Schumann ; (b) Bobinas dispostas horizontalmente para a detecção e armazenamento do sinal no tempo nas direções N-S e L-O . Medias em locais isolados operados a céu aberto com baterias.**

## APLICAÇÕES

### Detecção de Descargas Atmosféricas

Fazendo uma montagem em triangulação com três detectores da frequência de ressonância Schumann, idênticos e espaçados o máximo possível, e preferênciando cada um em continente, pode-se medir o exato momento em que ocorre uma descarga atmosférica em forma de relâmpago pela oscilações induzida no guia de ondas formado pela terra e a ionosfera, três ou mais estações comparam o sinal no tempo destas oscilações e a alta resolução temporal (aprox. 1/100s) permite determinar exatamente o local da descarga. A sincronização temporal das estações é assegurada através de GPS de satélites.

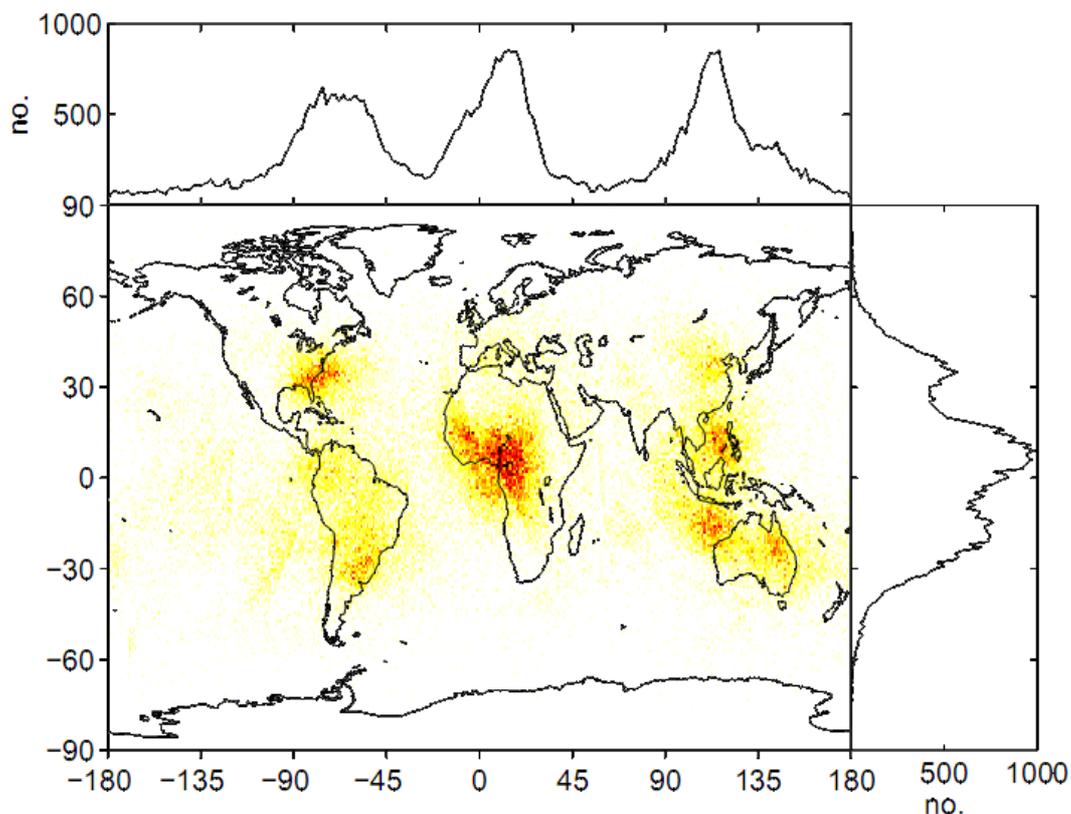
A Fig. 5 mostra o exemplo de gravações simultâneas da ressonância Schumann pelas estações Hollister / California (HOL), Silberborn / Alemanha (SIL) e Wellington / Nova Zelândia (WEL). A triangulação mostrou que o raio ocorreu na América do Sul no Espírito Santo.



**Fig. 5 A triangulação pelas estações de HOL, SIL e WEL de uma descarga atmosférica ocorrida no Brasil na América do Sul.**

A importância desta metodologia está no monitoramento dos raios é a comunicação ao sistema de tráfego aéreo.

A Fig.6, por exemplo, apresenta o resultado do monitoramento global para atividades de descargas atmosféricas no período de abril de 1998, montado por triangulação da ressonância de Schumann.



**Fig. 6 - A distribuição global de frequência de raios em Abril de 1998. A imagem mostra três locais com intensa atividade na frequência de raios: na América, África e Sudeste Asiático. Poucas tempestades aparecem sobre os oceanos.**

A ressonância de Schumann tem sido uma aliada no estudo de fenômenos atmosféricos bastante interessante e raramente registrados por imagens fotográficas denominados de Sprites e Elfos. Os Sprites são fenômenos de luz transitórios (Eventos Luminosos Transientes Sonorizado), vermelho-azuladas, que são emitidos a partir da superfície superior da nuvem para a ionosfera, quando ocorrem tempestades, produzidos por campos elétricos gerados por relâmpagos. Eles podem ser registrados por câmeras de alta sensibilidade CCD (ver fig.7). Foram descobertas 1989 [6] e são geradas por descargas raio extremamente intenso. O impulso eletromagnético de alguns relâmpagos geram fenômenos circulares de luz na ionosfera, denominados de Elfos.

Além dos Sprites e Elfos existe ainda um fenômeno de jatos azuis relativamente estreitos, e atingem até 40-50 km a partir da nuvem que não está perfeitamente esclarecido. São emissões de

elétrons na atmosfera. Uma publicação na Nature [7] sobre esses flashes brilhantes através de uma tempestade oceânica até a ionosfera, foi interpretada devido sua luminosidade como um curto-circuito entre a troposfera e a ionosfera.

No âmbito de um estudo destes eventos, uma proposta seria a detecção de um evento deste tipo por ressonância de Schumann, onde uma câmara de vídeo de satélites seria direcionada para documentá-los além de poder ter a determinação da frequência global desses eventos



**Fig. 7 Sprites e descargas de gás natural na mesosfera com uma câmera de vídeo.**

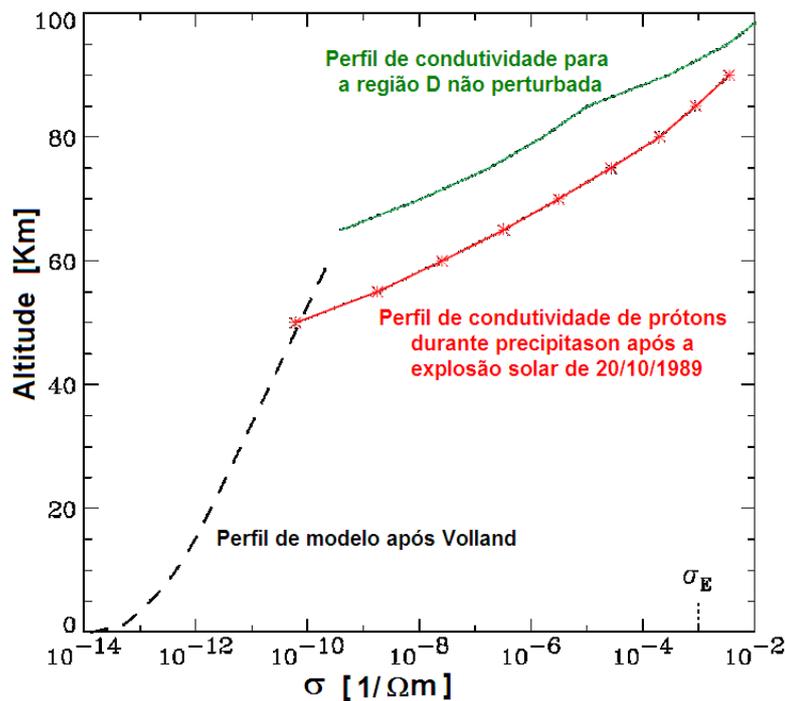
A Fig 8 apresenta os três fenômenos em uma montagem ilustrativa.



**Fig. 8 da esquerda para direita: Flash azul, Elfos e Sprites.**

### Monitoramento camada D

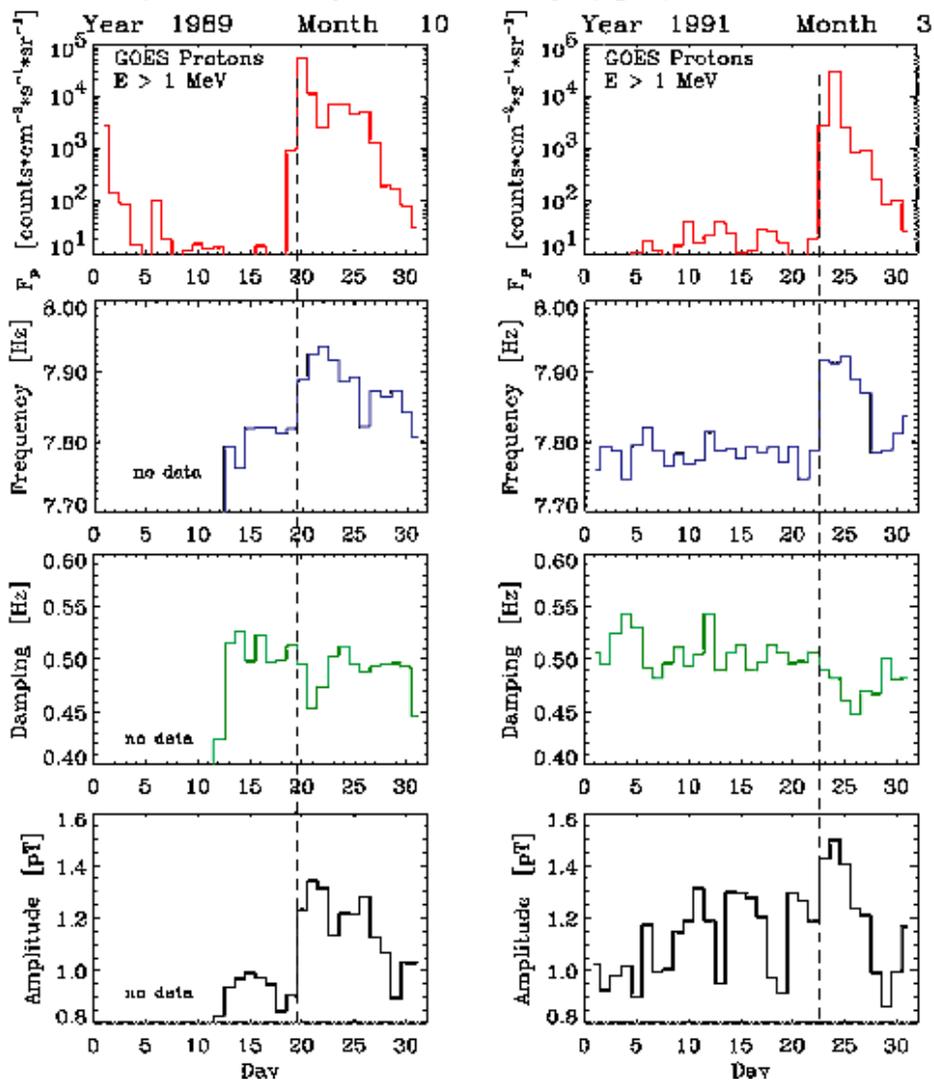
A condutividade da ionosfera é determinada pela densidade de elétrons e a frequência de colisão entre partículas dentro da ionosférica denominada de camada D. A densidade de elétrons muda com a incidência dos raios cósmicos e logo com a posição do sol, ou seja, com a hora do dia e estação do ano, as frequências de colisões é proporcional à pressão nesta região, ou seja uma função do livre caminho médio, o que também está sujeita a variação sazonal. Durante tempestades, os elétrons da magnetosfera com energias de alguns keV são precipitando na ionosfera e causam ionização adicional, aumenta a densidade de elétrons muito acima dos valores normais. Alterações mais fortes são causadas por erupções solares, dando como resultado emissões de prótons com energias superiores a 100 MeV. Estas partículas podem penetrar profundamente na atmosfera e provocar a ionização adicional abaixo de 50 km de altura, aumentando significativamente a condutividade e mudando o limite superior do guia de onda estreitando assim a cavidade (fig. 8).



**Fig. 8 Condutividade da ionosfera (camada D) em condições normais e após uma explosão solar.**

A condutividade muda não apenas as propriedades elétricas da Terra-ionosfera o limite superior do guia de onda também é deslocada para baixo desse modo, os parâmetros de ressonância Schumann são alterados por tais eventos [9].

Desta forma podemos registrar quando o sol apresenta atividades mais acentuadas afetando os três parâmetros do Schumann. Os espectros de ressonância são mostrados na FIG 9 .



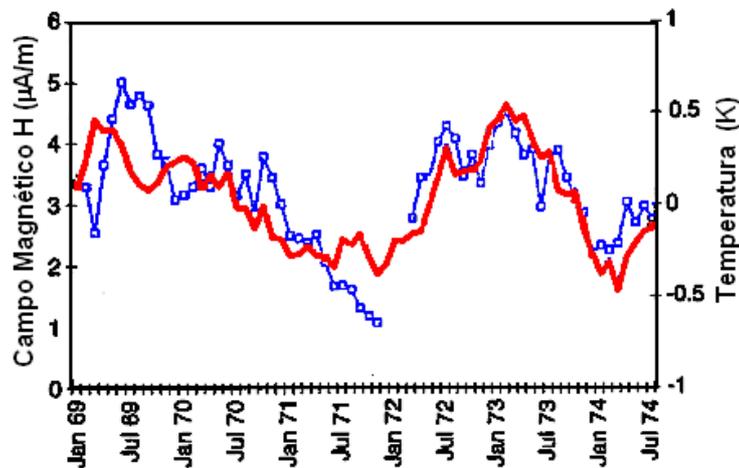
**Fig. 9 - Mudanças na ressonância Schumann para os três parâmetros descritos na figura 3 (frequência do pico central, amplitude e largura a meia altura) a partir de 20/10/1989 (esquerda) e de 22/03/1991 (direita). O fluxo de prótons de alta energia que causam a ionização adicional abaixo de 80 km, mudando a condutividade.**

Tal monitoramento é possível com uma única estação de um ambiente livre de interferências. Podendo ser um importante instrumento para medidas de intensidade de raios cósmicos e atividades solar.

## Mudanças Climáticas

A ressonância Schumann pode ser usada como um termômetro sensível a mudanças de temperatura mundial. Atividades globais e tempestade são essencialmente determinadas por fatores meteorológicos, entre outras coisas, pela temperatura da troposfera equatorial. O meteorologista americano E. Williams tem publicada uma comparação entre as temperaturas relativas tropicais durante um ciclo El-Niño e correlacionado com a amplitude da ressonância Schumann [10]. Embora seus dados cobre apenas um período de cinco anos e meio (fig. 10), estes resultados são muito promissores na análise de variações climáticas de longo prazo.

A utilização de um estudo teste tipo pode ser um método bastante interessante para medidas do efeito estufa e verificação do aquecimento global de especial interesse. O vapor de água é o mais importante gás de efeito estufa, a medição tecnicamente difícil do vapor de água na tropopausa (camada intermediária entre a troposfera e a estratosfera, situada a uma altura média em torno de 17 km no equador) pode ser realizada com a ajuda de ressonância Schumann [11] e contribuir para questões atuais na pesquisa climática.



**Fig. 10** A amplitude da ressonância Schumann (pontilhada) temperatura tropical da superfície (linha grossa).

## Efeitos Biológicos

As chamados ondas alfa na atividade cerebral está na mesma gama de frequências dois primeiros modos da ressonância Schumann. Especula-se este fato é uma coincidência ou uma adaptação humana ao ambiente eletromagnético da terra ao longo da evolução. Nesta área de fronteira talvez existam resultados interessantes.

## REFERÊNCIAS

- [1] Schumann, W.O., Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist, Z. Naturforsch. 7a, 149, (1952)
- [2] Schumann, W.O., Über die Dämpfung der elektromagnetischen Eigen-schwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre, Z. Naturforsch. 7a, 250, (1952)
- [3] Schumann, W.O. und H. König, Über die Beobachtung von Atmosphericics bei geringsten Frequenzen, Naturwissensch., 41, 283, (1954)
- [4] Sentman, D.D., Schumann Resonances, in: Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Vol. 1, H. Volland, Editor, CRC Press, Boca Raton, USA, 1995, p. 267.
- [5] Füllekrug, M. und S. Constable, Global triangulation of intense lightning discharges, Geophys. Res. Lett. 27, 333 (2000)
- [6] Franz, R.C., R.J. Nemzek und J.R. Winckler, Television image of a large upward electrical discharge above a thunderstorm system, Science, 249, 48, (1990)
- [7] Pasko, V.P., M.A. Stanley, J.D. Mathews, U.S. Inan und T.G. Wood, Electrical discharge from a thundercloud top to the lower ionosphere, Nature, 416, 152, (2002)
- [8] Füllekrug, M., Fraser-Smith, A.C. und K. Schlegel, Global ionospheric D-layer height monitoring, European Physics Letters, 59(4),626, (2002)

[9] Schlegel, K. und M. Füllekrug, Schumann resonance parameter changes during high-energy particle precipitation, *J. Geophys. Res.* 104, 10111, (1999)

[10] Williams, E.R., The Schumann resonance: A global tropical thermometer, *Science* 256, 1184, (1992)

[11] Price, C., Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour, *Nature*, 406, 290, (2000)

[12] König, H.L., *Unsichtbare Umwelt*, Eigenverlag Herbert L. König, München, 1977

NOTAS DE FÍSICA é uma pré-publicação de trabalho original em Física.  
Pedido de cópias desta publicação deve ser enviado aos autores ou ao:

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
Área de Publicações  
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – 4<sup>o</sup> andar  
22290-180 – Rio de Janeiro, RJ  
Brasil  
E-mail: [socorro@cbpf.br](mailto:socorro@cbpf.br)/[valeria@cbpf.br](mailto:valeria@cbpf.br)  
[http://www.biblioteca.cbpf.br/index\\_2.html](http://www.biblioteca.cbpf.br/index_2.html)

NOTAS DE FÍSICA is a preprint of original unpublished works in Physics.  
Request for copies of this report should be addressed to:

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
Área de Publicações  
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – 4<sup>o</sup> andar  
22290-180 – Rio de Janeiro, RJ  
Brazil  
E-mail: [socorro@cbpf.br](mailto:socorro@cbpf.br)/[valeria@cbpf.br](mailto:valeria@cbpf.br)  
[http://www.biblioteca.cbpf.br/index\\_2.html](http://www.biblioteca.cbpf.br/index_2.html)