

Medidas dos espectros da radiação não ionizante de São José dos Campos e Taubaté, SP, Brasil

Inácio Malmonge Martin, Marcelo Pego Gomes & Mauro Ângelo Alves

Abstract — The main objective of this work was the study of the spectrum of environmental electromagnetic energy between 1Hz and 9.4GHz in the region of Taubaté and São José dos Campos, SP. The spectrum was measured with a sensitivity of -170dBm (unit of power). Through this study it was possible to identify the main polluting sources of environmental radiation in this region. In the frequency range 1Hz to 1kHz, the average value of electric field intensity measured was 50V/m, with peaks reaching up to 730V/m. From 1kHz to 1MHz, the average electric field of the electromagnetic radiation was 1V/m with some peaks reaching up to 12V/m. In the frequency range 1MHz to 9.4GHz the minimum intensity of the electromagnetic radiation was around -90dBm. Several emission peaks above -90dBm are related to several types of sources present in this region.

Index Terms — Electromagnetic Energy Spectrum, Environmental Electromagnetic Radiation, Sensors of Non-Ionizing Radiation.

Resumo — O principal objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo do espectro da energia ambiental entre 1Hz e 9,4GHz na região de Taubaté e São José dos Campos, SP. Tal espectro foi medido com sensibilidade de até -170dBm (unidade de potência). Através deste estudo foi possível identificar as principais fontes poluidoras da radiação ambiental nestes locais. Na faixa de 1Hz a 1kHz o valor médio da intensidade do campo elétrico medido nessa faixa de frequência foi de 50V/m, tendo picos que atingiram até 730V/m. Entre 1kHz a 1MHz o valor médio do campo elétrico dessas radiações foi de 1V/m com alguns picos que chegaram até 12V/m. Na faixa de frequência de 1MHz a 9,4GHz encontram-se radiações com intensidade mínima de até -90dBm. Picos diversos acima dessa potência identificam as principais fontes emissoras existentes nesse intervalo de frequência nas duas regiões.

Palavras Chave — Energia Ambiental, Espectros Eletromagnéticos, Radiação não ionizante, Sensores.

I. INTRODUÇÃO

A radiação não ionizante ambiental de uma região tem

I. M. Martin (martin@ita.br) pertence a Universidade de Taubaté - UNITAU. Rua Daniel Danelli, Taubaté - SP - Brasil - 12060-400, e ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. Rua Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos Campos - SP - Brasil - 12228-900. M. P. Gomes (gomesmpfis@yahoo.com.br) e M. A. Alves (pacmauro@yahoo.com) pertencem ao Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE. Rua Marechal Eduardo Gomes,

50, Vila das Acácias, São José dos Campos - SP - Brasil - 12228-904.

sua intensidade medida em potência (dBm) e em V/m para a intensidade de campo elétrico local. Estes valores sempre variam com a frequência [1]. Os analisadores de espectros em geral podem observar a radiação presente numa determinada faixa de frequência, isto com monitoramento contínuo ou valores de frequência previamente determinados. Em geral, analisadores que cobrem a faixa de frequência de 10kHz a 26 GHz existentes no comércio além de apresentarem custos elevados, são empregados para medidas em laboratórios, pois não são portáteis, e não possuem sensibilidade para observarem intensidades de radiação em potência com valores inferiores a -90dBm [2]. Estes analisadores também necessitam diversos conjuntos de antenas para cobrir toda faixa de frequência, o que dificulta muito efetuar medidas em qualquer região espectral escolhida.

As radiações não ionizantes são as que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos (<12eV) do meio por onde se deslocam, mas têm o poder de dissociar moléculas, ou seja, romper ligações químicas. As radiações não ionizantes estão sempre a nossa volta [3]. A radiação eletromagnética consiste de ondas que se propagam pelo espaço. Estas ondas são formadas pela soma de um campo elétrico (E) e um campo magnético (H), que oscilam perpendicularmente um ao outro, e à direção da propagação corresponde o deslocamento de energia (vetor de *Poynting*). Estas radiações abrangem ultravioleta (próximo do visível), luz visível, infravermelho, ELF (*Extremely Low Frequency*), LF (*Low Frequency*), VHF (*Very High Frequency*) e micro-ondas. Parte destas radiações constitui uma faixa do espectro eletromagnético denominada de radiofrequência (RF) que vai de 9kHz à 300GHz [4]. O rádio e a televisão, por exemplo, operam em radiofrequência nas faixas de frequências que vão de 300kHz a 300MHz (rádio e televisão) e de 470 MHz a 806MHz (televisão). Estas compreendem respectivamente as faixas VHF e UHF. A corrente elétrica alternada também produz campos eletromagnéticos ao redor dos condutores e equipamentos diversos, no Brasil, por exemplo, a frequência de oscilação da corrente alternada é 60Hz. A banda de micro-ondas vai de 300MHz até 300GHz, que é o limiar do espectro de luz; o início do infravermelho, que depois evolui para o espectro visível e ultravioleta A [5].

Desde o início de seu uso, telefones celulares operam na banda de micro-ondas, começando a 900MHz para o celular analógico, passando por 1.8 a 1.9GHz para o GSM (*Group Special Mobile*), por 2.45GHz para o 3G, e mais recentemente

em torno de 3.5GHz para o *Wimax* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). A banda C (6GHz) e banda KU 14GHz são utilizadas em situações especiais tais como o rastreamento de caminhões e comunicações via satélite. A frequência de aproximadamente 8GHz é usada para transmissão de dados da superfície da Terra a satélites [6, 7]. Entre 8 e 12GHz operam radares meteorológicos a bordo de aeronaves e radares de operação de buscas, salvamentos e localização. Alguns equipamentos industriais que operam a frequências de 20 a 40MHz também são responsáveis pela presença de radiação não ionizantes no meio ambiente.

O principal objetivo das medidas apresentadas neste trabalho se refere à determinação do espectro da radiação não ionizante ambiental nas cidades de São José dos Campos (Campus do ITA) e Taubaté (Campus da UNITAU), para uma faixa de frequência variando entre 1Hz a 9.4GHz. Para isto, foi utilizado um detector com sensibilidade de -170dBm. Além de apresentar o espectro nessa faixa em intervalos de 0.3Hz de precisão em frequência na faixa 1Hz a 1kHz e de 1MHz na faixa de 1MHz a 9.4GHz, estuda-se através dessas medidas a dinâmica dessa radiação na região. Os espectros das radiações não ionizante ambiental, podem ser diferentes devido à existência de fontes emissoras não estacionárias como é o caso das aeronaves. Nossos sensores detectam a radiação emitida por radares das aeronaves quando estas estão sobrevoando ou em trânsito nos aeroportos das cidades onde as medidas estão sendo realizadas. Outro exemplo são as radiações naturais que variam de intensidade como é o caso daquelas provocadas por descargas elétricas (ondas de Schumann).

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para efetuar as medidas da radiação não ionizante entre 1Hz a 9.4GHz utilizou-se dois equipamentos de última geração adquiridos da Empresa Aaronia AG, da Alemanha. Dois sensores *Spectran* NF (1Hz a 1kHz, 1kHz a 1MHz) e *Spectran* HF (1MHz a 9.4GHz), cobrem a faixa de frequência acima descrita. Uma antena compacta e onidirecional é empregada em ambos os sensores. Para o *Spectran* HF existe também uma antena compacta e outra direcional. O tempo de amostragem nas medidas pode ser escolhido de 5ms a 3000ms. A resolução da largura de banda (RBW – *Resolution Band Width*) pode variar de 1Hz a 300MHz. Os sensores são totalmente portáteis com baterias próprias para 8 horas de operação contínua. Um software específico grava os dados em arquivos e gera gráficos na tela do computador que podem ser salvos em imagens. Todos os detalhes dos parâmetros de ajustes e funcionamento do analisador de espectros podem ser consultados no site do fabricante [8]. Um PC laptop (Dell Vostro i5) foi utilizado para a aquisição e determinação dos espectros de frequência medidos com arquivos de dados. Como o sistema é compacto e portátil é possível realizar levantamentos do campo de radiação não ionizante em qualquer local remoto.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medidas em São José dos Campos foram feitas em pontos ao norte, sul, leste e oeste do campus do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), sempre no limite cidade/campo. Na cidade de Taubaté, as medidas foram efetuadas no campus da Unitau, no Departamento de Matemática e Física e Departamento de Engenharia Civil, ambos no centro da cidade. Foram realizadas medidas no Departamento de Ciências Agrárias, limite cidade/campo. Todas as medidas foram obtidas entre 15 de setembro a 20 de dezembro de 2011. Os espectros medidos nesse período foram efetuados para determinar a intensidade mínima da radiação não ionizante ambiental entre 1Hz e 9.4GHz nas cidades mencionadas. No entanto, nos dias atuais, quando se efetuam as medidas de espectros, a intensidade mínima ainda permanece a mesma, -90dBm, em todo intervalo de frequência verificado. Porém, entre 6GHz e 9.4GHz, observa-se para esta faixa de frequência a emissão de radares móveis, principalmente e aeronaves em voo e testes em solo, o que aumenta a densidade dessa radiação na região. O estudo dessa dinâmica da radiação no tempo a partir de setembro de 2011 na região é um dos trabalhos que vem sendo realizado pelo nosso grupo de pesquisa (RADAMB/CNPq). Em outro resultado que obtivemos, verificou-se que o espectro entre 1MHz e 9.4GHz é repetitivo e constante em ambas regiões. Apenas no intervalo superior a 8GHz, observaram-se ocasionalmente emissões intensas de radar de aeronaves que trafegam sobre a região.

Na Figura 1 mostra-se o espectro da intensidade do campo elétrico no meio ambiente. O valor médio entre 1Hz a 1kHz é de 40V/m, e evidenciam picos de emissão importantes correspondente principalmente as linhas de alta tensão de transmissão de energia elétrica a 60Hz com pico máximo de 730V/m e a 120Hz com pico de 500V/m.

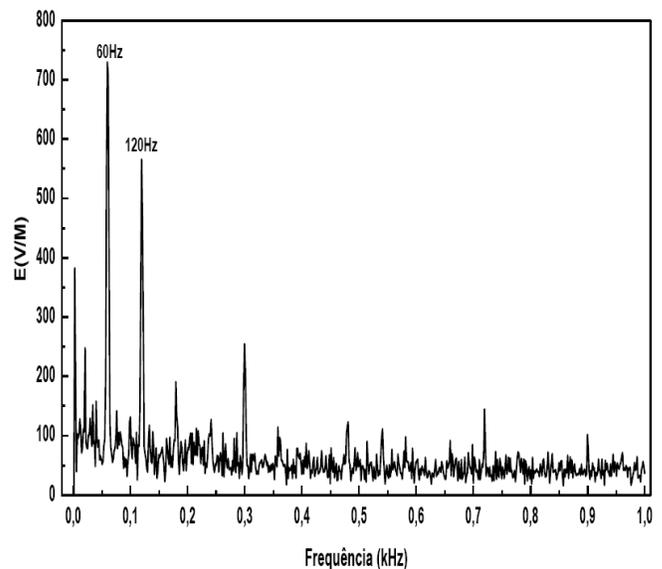


Fig. 1. Espectro de energia (intensidade do campo elétrico versus frequência) da radiação eletromagnética na faixa de 1Hz a 1kHz. Este espectro é representativo das cidades de São José dos Campos e Taubaté, SP.

Na Figura 2 mostram-se medidas efetuadas entre 1kHz a 1 MHz, o valor da amplitude média do sinal foi de

aproximadamente 1V/m, observam-se outros picos de radiação cuja amplitudes estão entre 4V/m a 12V/m. Note que essa faixa de frequência possui poucos picos de emissões. Os poucos picos observados são certamente provocadas por emissões RF da região.

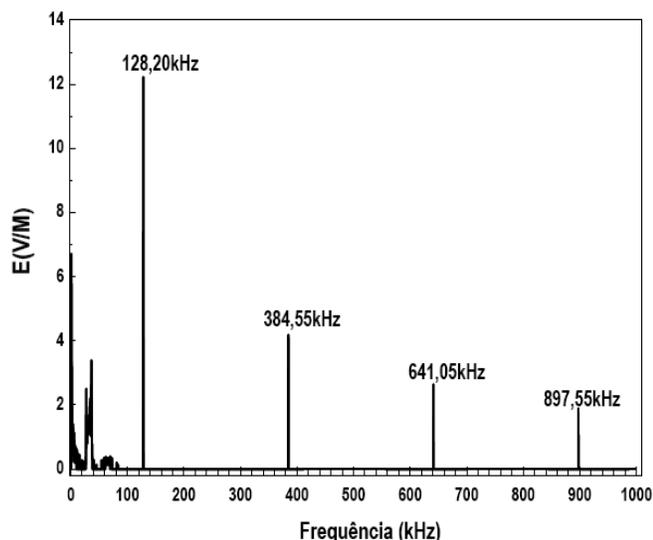


Fig. 2. Espectro em função da frequência no intervalo de 1kHz a 1MHz. Este espectro é representativo das cidades de São José dos Campos e Taubaté, SP.

Na Figura 3 mostra-se o espectro observado em função da frequência entre 1MHz e 9.4GHz. A intensidade mínima de sinal medido é de -90dBm com picos de emissões chegando a -5dBm.

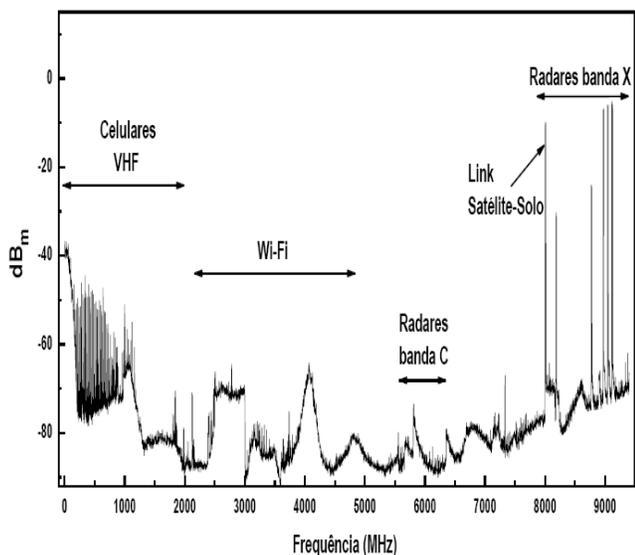


Fig. 3. Espectro de frequência dos sinais medidos na região de São José dos Campos e Taubaté, SP, entre 1MHz a 9.4GHz, e com intensidade mínima de sinal de -90 dBm, RBW de 1MHz e "sweep time" de 50 ms.

Na Figura 3, na faixa de frequência de 1MHz a 2GHz encontram-se as emissões de celulares e de VHF, sendo que está faixa encontra-se bastante congestionada com vários picos de emissão. Entre 2GHz a 5GHz as emissões de WI-FI são

bem evidentes e predominantes nas duas cidades. Entre 5GHz e 8GHz, apenas o pico de transmissão de dados solo-satélite a 8GHz é visível. Em algumas ocasiões detectaram-se sinais intensos em torno de 6GHz, relativos a emissões de radares na banda C e outras fontes. Já entre 8GHz a 9.4GHz, observam-se emissões oriundas de aeronaves em voos operando radares meteorológicos a bordo (banda X, 8GHz a 12GHz). Essas emissões são bem variáveis no tempo e na intensidade dos sinais. As Figuras 1, 2 e 3 mostram a intensidade do sinal da radiação ambiental observado em função de uma ampla variação da frequência (1Hz a 9.4GHz). No entanto, com os sensores compactos e portáteis de medidas empregados neste estudo pode-se facilmente medir com maiores detalhes uma pequena faixa de frequência desejada dentro desse amplo intervalo mostrado neste trabalho.

IV. CONCLUSÃO

Foi apresentado neste trabalho, pela primeira vez, o espectro ambiental em frequência entre 1Hz a 9.4GHz, na região de São José dos Campos e Taubaté, SP. Na faixa de 1Hz a 1kHz dois picos importantes foram detectados a 60 e 120Hz; a energia correspondente as estas duas frequências constituindo o maior poluidor da faixa. Entre (1kHz a 1MHz) o pico de 12V/m foi o maior observado, sendo provavelmente poluição de emissoras de RF. Na faixa de (1MHz a 9.4GHz), vários picos de emissões tanto de celulares e VHF como (WI-FI), radares na banda C e X e transmissão de dados solo a satélite foram identificados. As emissões de celulares e VHF são as fontes mais poluidoras dessa faixa de frequência na região de medidas. Um sistema compacto e totalmente portátil foi montado com sensores sensíveis a radiações não ionizantes entre (1Hz a 9.4GHz), com diferentes tempos possíveis de varreduras e de RBW. Este sistema é indispensável na verificação do campo eletromagnético de uma região ou local específico que se queira medir a potência (W) ou campo elétrico e/ou magnético do local.

AGRADECIMENTOS

Ao Fortunato Rezende Guimarães pelo financiamento dos instrumentos e ao CNPq projetos processos 480407/2011-8 e 305145/2009-6, a Unitau e ITA pelo apoio técnico e logístico.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Elbern. (2011, dezembro, 28). Radiação Não Ionizante, Conceitos, Riscos e Normas, Curso de Engenharia do Trabalho. Disponível: <http://www.prorad.com.br/cursos/Cursos/rni.pdf>.
- [2] Zell. (2011, dezembro, 28). Radiação não Ionizante, Equipamentos de última geração. Disponível: <http://www.zell.com.br/produtos/radiacao-nao-ionizante>.
- [3] A. A. Gusev, I. M. Martin, G. I. Pugacheva, D.V. Ferreira and C. Otani, "The shelter of high energy electrons produced by the powerful HF transmitter," *IMOC-2005 (IEEE-USA)*, Brasilia, 2005, Brazil.
- [4] Anatel. (2012, dezembro, 09). Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9kHz e 300GHz. Anexo à resolução n.º 303 02 de Julho de 2002. Disponível: <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do>.

- [5] M. F. Viegas, I. M. Martin, D. V. Ferreira, C. Otani, “Medidas da Radiação Não Ionizantes na cidade de São José dos Campos, SP, Brasil.” XII Encita. São José dos campos, São Paulo, Brasil, 2006.
- [6] T. P. Freitas, N. R. M. Mendez, “Monitoramento das radiações eletromagnéticas não ionizantes de baixa frequência em uma creche da cidade de Criciúma, SC.” *UNIrevista*, vol. 1, no. 3, julho, 2006.
- [7] F. R. Guimarães. (2011, dezembro, 28). Mineração Itaboca. Disponível: <http://br.linkedin.com/pub/fortunatoresendeguimar%C3%A3es/34/185/396>.
- [8] Worlds Smallest 9.4GHz Analyzer Spectrum. (2011, December, 28). Available: www.spectran.com and www.aaronia.de.



Inácio Malmonge Martin nasceu em Bauru, SP, em julho de 1943. Recebeu o título de Licenciado e Bacharel em Física pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, SP, UNESP em dezembro de 1966. Recebeu o título de Mestre em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, em dezembro de 1968. Em 1970 recebeu o título de “Docteur d’Specialité em geofísica espacial da Université Paul Sabatier na cidade de Toulouse, França. Em junho de 1974, recebeu o título de “Docteur d’Etat” em Física- Astrofísica, da Universidade Paul Sabatier da cidade de Toulouse,

França. Foi pesquisador do INPE de janeiro de 1967 a maio de 1984. Foi professor de Física da Universidade Federal de Viçosa de 1985 a 1986. Foi professor de Física de janeiro de 1987 a dezembro de 2000, do IFGW, Unicamp. Atualmente, é professor de Física da Universidade de Taubaté – UNITAU, de fevereiro de 2003 até julho de 2013 quando se aposentará. Também é professor convidado do ITA-Departamento de Física de maio de 2006 até esta data. É bolsista PQ do CNPq nível 1D até julho de 2014.



Marcelo Pego Gomes é nascido em Montes Claros, MG, em agosto de 1974. Recebeu o título de Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Viçosa (2002). Recebeu o título de Mestre em Física pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2004). Recebeu o título de Doutorado em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2011). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica e professor colaborador da pós-graduação do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do

Paraíba.



Mauro Angelo Alves é Bacharel em Física pelo Instituto de Física da USP, mestre em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico da USP e PhD em Física pelo Department of Physics da Oregon State University na área de Física da Matéria Condensada. Realizou pós-doutorado no Technische Universität Braunschweig, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Alemanha na área de espectroscopia de interações hiperfinas. Atualmente, é pós-doutor do Instituto de Aeronáutica e Espaço onde desenvolve pesquisa relacionada a materiais e sua interação com radiação eletromagnética.