ANÁLISE ESPECTRAL NA IDENTIFICAÇÃO DE COMUNICAÇÕES QUE UTILIZAM O CANAL VHF AERONÁUTICO

Magali Andréia Rossi
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Jorge Rady de Almeida Junior
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Genivaldo José de Menezes
Especialista em Acidentes e Incidentes Aeronáuticos

RESUMO
Este artigo tem como objetivo demonstrar a utilização do Canal VHF identificando situações de interferências durante sua utilização. O Canal VHF Aeronáutico é um meio de comunicação que há muito tempo é utilizado como forma de contato entre as aeronaves e os controles de tráfego aéreo. Por ser um meio de comunicação analógico que funciona em freqüência determinada pode sofrer alguns tipos de interferências durante sua utilização, podendo ser produzidas por diversas fontes sonoras existentes em um aeroporto ou até fontes de interferências externas. Desta forma, qualquer tipo de interferência não autorizada neste canal de comunicação pode vir a afetar seriamente sua utilização, fazendo com que as operações junto aos órgãos ATS (*Air Traffic Service*) sejam comprometidas. Assim, através da ICAO (*Intenational Civil Aviation Organization*), muitas tecnologias de suporte ao gerenciamento de tráfego aéreo vêm sendo desenvolvidas, como o sistema VDL que utilizará transmissão de dados digitais.

ABSTRACT
This paper has as objective to demonstrate to the use of the VHF Channel, demonstrating interference situations during its use. The VHF Aeronautical Channel is a media that is being used for much time as a contact way between the aircraft and the air traffic controllers. Because it is an analogical media that works in definitive frequencies, it can suffer some types of interferences during its use. These interferences can be produced by diverse existing sonorous sources in an airport or until external interferences sources.. So, any type of non authorized interference in this communication channel can affect seriously its use, harming the operations close to agencies like ATS (Air Traffic Service). Thus, through ICAO (International Civil Aviation Organization), many support technologies to the air traffic management are being developed, as VDL system that will use digital data transmission.

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos a comunicação entre o controle de tráfego aéreo e a aeronave vem sendo feita através da utilização do Canal VHF. É um canal analógico cuja freqüência é estabelecida entre 107,975 MHz a 136,975MHz (Malven, 1988). Sua finalidade é fazer com que as aeronaves estabeleçam contato com o gerenciamento de tráfego aéreo fornecendo informações como rota, altitude e proa.

A ICAO (*International Civil Aviation Organization*), nos últimos anos, vem sugerindo modificações neste canal de comunicação a fim de melhorar a segurança dos vôos e também minimizar a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo. Para isso foi criado o FANS (*Special Committee Future Air Navigation Systems*), dando início ao conceito CNS/ATM (*Communication, Navigation, Surveillance/ Air Traffic Management*) para o desenvolvimento de sistemas aeronáuticos de comunicação, que permite integrar diversas sub-redes utilizando diferentes tecnologias.

No início da década de 90, a ICAO aprovou o primeiro plano de desenvolvimento de sistemas aeronáuticos utilizando o conceito CNS/ATM, o que facilitaria a interoperabilidade entre os sistemas. Utilizam-se tecnologia digital, sistemas de satélite, e ferramentas de automação para gerenciamento de tráfego aéreo.

Pode-se citar a utilização de sistemas como o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para navegação que permite determinar a posição e o tempo incluindo um ou mais satélites, proporcionando navegação em rota (*en-route*) e em aproximação. Para vigilância pode-se citar o sistema ADS (*Automatic Dependent Surveillance*), fazendo com que a aeronave transmita suas informações através de seu FMS (*Flight Management Systems*), via

satélite ou outro meio fazendo com que o gerenciador de tráfego aéreo disponha destas informações como se fossem através de radar (Rossi *et. al.,* 2005).

No entanto, a comunicação através do Canal VHF irá continuar e estará sendo utilizada em conjunto com a transmissão digital de dados.

2. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

A comunicação em um Canal VHF Aeronáutico ocorre através de voz, seguindo os padrões de fraseologias determinados pelo Comando da Aeronáutica, objetivando que seja assegurada a uniformidade das comunicações radiotelefônicas, redução de tempo de transmissão e autorizações claras (Ministério da Aeronáutica 1999).

Como procedimento radiotelefônico determina-se que: *"O principal objetivo das comunicações radiotelefônicas entre pilotos e controladores de tráfego aéreo ou operadores de estação aeronáutica é o entendimento mútuo. Conquanto o controlador e o operador necessitem conhecer claramente as intenções do piloto, antes de prosseguirem na prestação dos serviços de tráfego aéreo, e o piloto necessite saber exatamente quais as instruções oriundas do órgão ATS, os contatos deverão ser os mais breves possíveis"* (Ministério da Aeronáutica 1999).

A rede de telecomunicações aeronáuticas que trabalha com radiotelefonia, ou seja, transmissões em VHF e HF pode ser definida como*: "Grupo de estações aeronáuticas de radiotelefonia operando nas mesmas freqüências e auxiliando-se mutuamente, de forma preestabelecida, para obter a máxima segurança das comunicações aeroterrestres e a disseminação do tráfego aeroterrestre"* (Ministério da Aeronáutica 1999a).

A tabela 1 apresenta um exemplo de comunicação entre torre e aeronave.

Tabela 1: Exemplo de autorizações condicionais entre aeronave e órgão ATS

	Português	Inglês
TORRE	*VRG200, reporte avistando o Airbus na final*	*VRG200, report the airbus on final in sight*
AERONAVE	*VRG200 avistando o Airbus*	*VRG200 airbus in sight*
TORRE	*VRG200, após passagem do Airbus que pousa, autorizado alinhar e manter*	*VRG200, after the landing airbus has passed, line up and maintain*

Desta forma, o entendimento entre o piloto e o controlador de tráfego aéreo é muito importante, o entendimento errôneo por uma das partes pode ocasionar graves acidentes. O desenvolvimento de novas tecnologias para navegação e gerenciamento de tráfego aéreo visa à redução da utilização da voz como principal meio de comunicação, fazendo com que sua utilização ocorra apenas em situações de emergência junto aos aeródromos.

2.1. Sistema de Comunicação HF

O sistema HF (*Hight Frequence*) que também é conhecido como SSB (*Single SideBand*) permite a comunicação entre aeronaves ou aeronaves e órgãos ATS. Sua faixa de freqüência varia entre 2 MHz e 30 MHz com espaçamento de 25 kHz entre as freqüências (Aerotecnologia, 2002). Porém, também utilizado como uma forma alternativa nas comunicações VHF, pois também pode operar em amplitude modulada.

2.2. Sistema de Comunicação VHF

O sistema VHF (*Very Hight Frequence*) também tem como objetivo permitir a comunicação entre aeronaves ou aeronaves e órgãos ATS, porém sua faixa de freqüência é de 118,000 MHz a 136.975 MHz com espaçamento de 25 kHz (Aerotecnologia, 2002). Sua modulação é única, AM – amplitude modulada.

O sistema VHF é baseado na utilização do protocolo ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*).

2.3. Transmissão de Dados em Sistemas VHF

O anexo 10 da ICAO, especifica três formas como comunicações aeronáuticas em sistemas VHF (LaBerge, 2004), (ICAO, 1996):

● Voz analógica através do DSB-AM (*Double SideBand - Amplitude Modulation*) em um espaço de canal de 25 kHz ou de 8.33 kHz.

● Informação digital através do VDL2 (VHF Digital Link 2) e VDL3 (VHF Digital Link 3) usando diferentes codificações em D8PSK (8-*Phase Shift Keying*) na modulação.

● VDL4 (VHF Digital Link 4) utilizando GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) em um sinal STDMA (*Selforganizing Time-Division Multiple Access*).

As características são utilizadas no desvio de fase de uma onda em diferentes ângulos. Em uma comunicação VHF AM proporciona uma mudança de freqüência durante o envio dos dados, fazendo com que a comunicação não seja utilizada somente através de uma única freqüência. Neste caso, a amplitude permanece de maneira linearmente proporcional ao valor instantâneo do sinal modulante ou informação, onde cada ângulo é utilizado para transferência de vários bits de dados ao mesmo tempo em cada mudança de sinal. Assim, durante uma comunicação utilizando o Canal VHF, entre a aeronave e o controle de tráfego aéreo a freqüência utilizada vai sendo alternada em vários ângulos do início ao término da comunicação.

Os parâmetros das características para cada um dos formatos de sinais são representados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de sinais que utilizam comunicação aeronáutica em VHF

VHF communications format	8.33 and 25KHz Voice	VDL2	VDL Mode 3	VDL4
Modulation	DSB-AM	D8PSK	D8PSK	GFSK
Channel Modulation Rate	Analog	10.5 ksps (31.5 kbps)	10.5 ksps (31.5 kbps)	19.2 kbps
Min. signal level	-93 dBm	-98 dBm	-98 dBm	-98 dBm
Channel Access	none	CSMA	TDMA	STDMA
Nominal transmision duration	See traffic loading text, below	70 ms	40 ms	12.5 ms
Error correction	None	(255,249) RS code	(72,62) RS Code	None
Error detection	None	16-bit CRC	24-bit CRC	16-bit CRC
MOPS reference signal level	-87 dBm	-87 dBm	-87 dBm	-87 dBm
Desensitization threshold	-27 dBm	-27 dBm	-27 dBm	-27 dBm
S/P criterion (off-channel)	6/18/12/ dB VDL2/3/4	n/a	n/a	n/a
S/I criterion (off-channel)	n/a	21.8 dB	21.8 dB	22.0 dB

Na Figura 1 é demonstrado sua utilização no desvio de fase em oito ângulos diferentes, onde cada ângulo representa um sinal distinto (Gallo e Hancock, 2003).

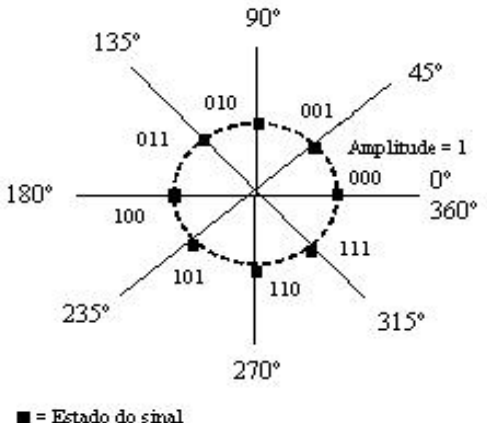


Figura 1: Chave de desvio de fase (D8PSK) (Gallo e Hancock, 2003)

Podendo ser representada por (Masson *et. al*., 2006):

$$s(t) = \sqrt{\frac{2Es}{T}} \cos\left(2\pi f_{et} t + \frac{a_n h(t - nT)}{T} + \theta \right) \qquad (1)$$
$$nT \le t \le (n+1)T$$

Na transmissão de dados no Sistema VDL4 em GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), a implementação também segue a mesma freqüência utilizada, diferenciando apenas com a implementação de um Filtro Gaussiano no início da transmissão (Masson *et. al*., 2006).

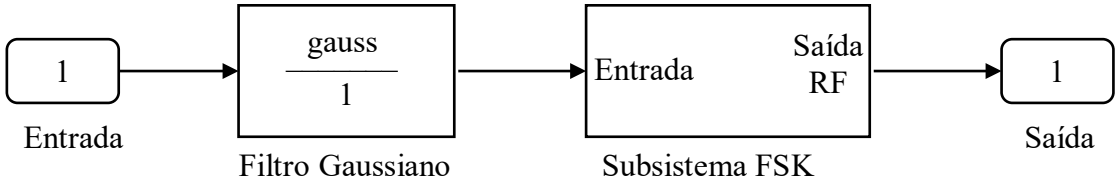


Figura 2: Implementação do Filtro Gaussiano

Podendo ser representada por (Masson *et. al*, 2006):

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma T}} \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2 T^2} \right) \qquad (2)$$
$$\sigma = \frac{\sqrt{\ln(2)}}{2\pi BT}$$

3. NÍVEIS DE RUÍDOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

O Canal VHF, por utilizar este tipo de transferência de dados, fica sujeito a vários tipos de interferências no espectro de freqüência. Estas interferências ou ruídos em aeroportos estão relacionados diretamente à fonte emissora, geralmente as aeronaves, bem como sua intensidade de emissão (SEPC, 2006).

A ICAO determina os níveis máximos de ruídos que uma aeronave pode emitir, considerando seu porte e utilização. A determinação também se aplica aos equipamentos de navegação utilizados pelas aeronaves e as aeronaves que utilizam o APU (*Auxiliary Power Unit*), qual produz um sinal acústico local por ficar ligado, fornecendo energia aos demais equipamentos da aeronave (ICAO, 1993).

Outros fatores também provocam interferências por ruídos no Canal VHF, como os equipamentos utilizados nas operações de apoio ao solo. Dentre tais equipamentos podem-se citar os caminhões de abastecimento, plataformas de cargas (*loaders*), unidades de partida, rebocadores de aeronaves (*push back*), esteiras motorizadas e os tratores (Gama *et. al.* 2004), sendo que as interferências podem ocorrer com os equipamentos operando nas condições parado ou em movimento.

Na Tabela 3, são demonstrados os níveis de ruídos de alguns dos equipamentos utilizados nas operações de apoio ao solo. Várias são as situações que devem ser consideradas nas emissões de ruídos dos equipamentos, como o ruído de fundo no local, a condição que o veículo está operando, condição do clima durante a operação e também o estado de conservação do veículo (Gama *et. al.* 2004).

Tabela 3: Níveis de ruídos emitidos por equipamentos de apoio ao solo na condição parado

Equipamento	Nível de Pressão Sonora dB(A)
Ar Condicionado	85,2
Caminhão Ar Condicionado	98,8
Caminhão Pantográfico (Comissaria)	80,1
GPU 90 KVA - ano 1980	88,0
GPU 120 KVA - ano 1998	81,9
GPU 120 KVA - ano 2000	81,9
GPU 140 KVA - ano 1974	88,1
Esteira Motorizada	67,9
Loader	79,6
LPU	99,3
Caminhão QTA ou QTU	73,4
Plataforma Motorizada - Main Deck	84,1
Push Back	89,9
Trator	84,8

No entanto, além dos fatores próprios da área do aeródromo existe outro fator que pode influenciar na poluição do espectro de freqüência do Canal VHF, são as empresas instaladas nas proximidades do aeródromo.

Pelo Código Brasileiro de Aeronáutica (Presidência, 1986), na Seção V é estabelecido que:

Art. 43. As propriedades vizinhas dos aeródromos e das instalações de auxílio à navegação aérea estão sujeitas a restrições especiais.

Parágrafo único. As restrições a que se refere este artigo são relativas ao uso das propriedades quanto a edificações, instalações, culturas agrícolas e objetos de natureza permanente ou temporária, e tudo mais que possa embaraçar as operações de aeronaves ou causar interferência nos sinais dos auxílios à radionavegação ou dificultar a visibilidade de auxílios visuais (Código Brasileiro de Aeronáutica, 1986).

3.1. Identificação de Sinais em Canal VHF

Como já descrito anteriormente, na comunicação entre uma aeronave e um controle de tráfego aéreo, através do Canal VHF, é utilizada a voz. Assim, para situações onde há necessidade de identificação na utilização do meio de transmissão é necessário o desenvolvimento de uma análise no espectro de freqüência do Canal VHF, permitindo uma análise na comunicação que estiver utilizando a freqüência.

Na análise do espectro de freqüência pode-se utilizar o conceito demonstrado pelo Teorema de Fourier, que define um sinal periódico qualquer como sendo composto ou decomposto em uma série de ondas senoidais com freqüências múltiplas inteiras da freqüência fundamental, onde cada onda possui uma determinada amplitude e uma determinada fase (Schawarz e Friedland 1972; Martins, 2006). As ondas senoidais múltiplas inteiras da fundamental são chamadas harmônicos (Chapman, 2001), possuem freqüências múltiplas inteiras de freqüência fundamental. Porém, a análise de Fourier pressupõe a análise de sinais estacionários, ou seja, que não possuem alterações em sua freqüência no decorrer do tempo. Neste caso, para utilizar a análise de Fourier em sinais dinâmicos empregam-se os espectrogramas.

Os espectrogramas são descritos como a evolução da freqüência do sinal em função do tempo, ou seja, faz-se a representação visual da variação no tempo das freqüências que compõem um sinal, mostrando como a quantidade de energia em regiões varia de acordo com o tempo.

3.1.1. Obtenção de Espectrograma Através de um Sinal Acústico

Um espectrograma é formado através de sinal acústico, que representa à variação de freqüência de uma fundamental, onde a intensidade de energia em uma determinada freqüência torna-se mais intensa em um determinado tempo (figura 3).

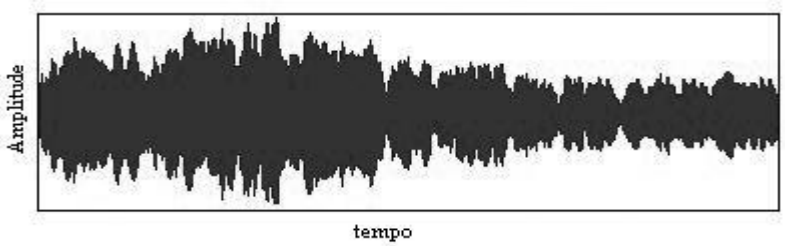


Figura 3: Sinal acústico (Coelho e Luciano 2006)

Portanto, um espectrograma representa-se pela divisão do sinal acústico em várias partes de tempo (figura 4), onde em cada parte é feita uma análise espectral e nesta análise é calculada a amplitude de cada componente de freqüência (figura 5).

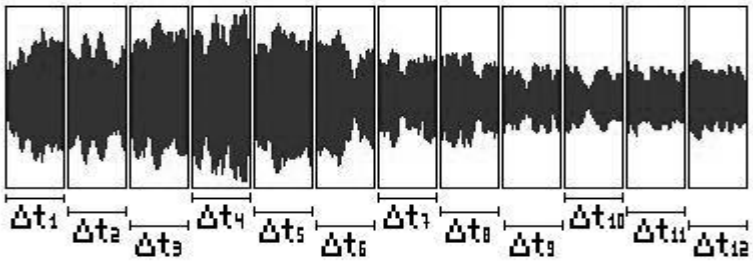


Figura 4: Divisão do sinal acústico em partes pelo tempo (Coelho e Luciano 2006)

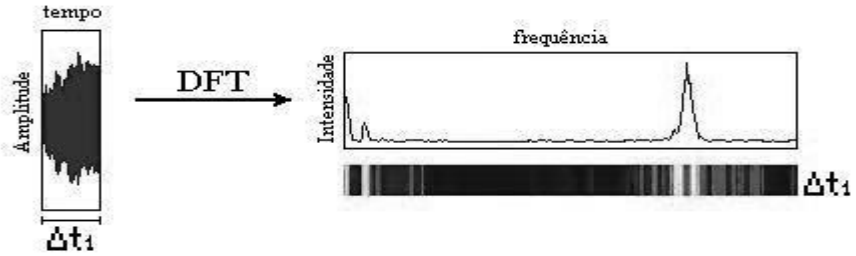


Figura 5: Análise da primeira parte do sinal acústico (Coelho e Luciano 2006)

Cada parte de tempo pelo sinal analisado gera uma imagem, e, em cada parte da imagem pode-se identificar a intensidade de energia na freqüência. Portanto um espectrograma passa a ser a junção de todas as partes de sinal pelo tempo que forem analisadas (figura 6).

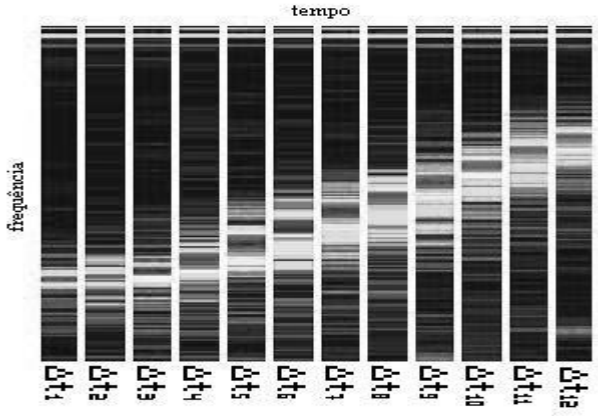


Figura 6: Espectrograma gerado através das partes do sinal acústico (Coelho e Luciano 2006)

4. UTILIZAÇÃO DO ESPECTROGRAMA EM CANAL VHF

O fato de haver a transmissão de voz em Canal VHF faz com que sua análise seja diferente de outras formas de transmissões de informações, como as transmissões em dados digitais. Desta forma, em situações onde há necessidade de identificação dos usuários do canal são utilizados os espectrogramas.

Ao extrair um sinal acústico referente a um determinado espaço de tempo e transformá-lo em espectrograma, há condições de se obter várias informações sobre o mesmo. Informações como os ruídos de fundo e a própria voz do locutor que passam a ser visivelmente apresentadas. Para a análise de identificação dos ruídos de fundos que compõem um espectrograma de um Canal VHF Aeronáutico, devem ser considerados os limites de ruídos determinados pela ICAO para as aeronaves e também conhecer os ruídos pertencentes à estrutura do aeródromo.

A importância de se ter conhecimento referente aos limites dos ruídos deve-se ao fato de conseguir a obtenção de parâmetros para análise do sinal, e então conseguir a extração de ruídos não pertinentes às condições do ambiente analisado.

A Figura 7 representa um espectrograma extraído de uma comunicação efetuada em Canal VHF entre o controle de tráfego aéreo e o piloto da aeronave. Na parte superior da figura é representado o sinal acústico, tendo sido utilizadas as mesmas aplicações do Teorema de Fourier demonstrada anteriormente para representação espectral.

Pode ser notada a existência de algumas faixas horizontais no espectrograma, trata-se da representação da intensidade de energia de uma freqüência sobre um determinado espaço de tempo. Esta intensidade de energia representa a fala do locutor, onde, de acordo com o espaço de tempo é representada em uma determinada freqüência. No entanto, esta mesma intensidade de energia pode ser representada, em algumas vezes, de forma menos intensa.

Ao fundo do espectrograma podem ser notadas manchas dispersas por toda a imagem, estas manchas representam os ruídos de fundo. O fato dos ruídos de fundo serem formados por várias fontes sonoras não possuem uma regularidade, não apresentando uma continuidade.

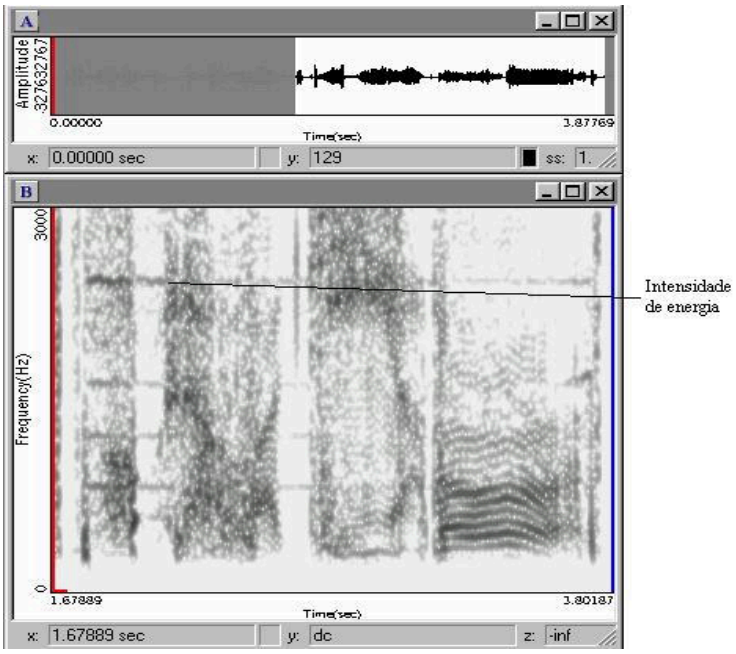


Figura 7: Espectrograma extraído da comunicação entre piloto e controle

Em situações onde ocorrem problemas de utilização inadequada do Canal VHF ou interferências irregulares, a analise espectral torna-se uma forma adequada para resolução destes problemas.

Nestas situações, para a identificação do problema no Canal VHF utilizando espectrogramas deve-se fazer a verificação comparativa entre ocorrências autorizadas e ocorrências não autorizadas. Na análise destas

ocorrências devem ser observadas as intensidades de energias geradas pelo locutor que estiverem dispostas em forma de faixas horizontais por todo o espectrograma, bem como os ruídos de fundo.

Considera-se que uma determinada fonte tenha sido identificada se as faixas horizontais compostas pelos harmônicos estiverem representadas tanto na comunicação autorizada, quanto na comunicação sob análise, fato este que recebe a denominação de representação simétrica. Nos casos onde as faixas são representadas de forma assimétrica, ou seja, não há a representação simultânea das faixas de harmônicos entre os espectrogramas da comunicação autorizada e da comunicação sob análise, não é possível se estabelecer a origem da mensagem.

Esta simetria define a igualdade na intensidade de energia entre as falas, onde mesmo com os ruídos de fundo ou alteração proposital da fala as intensidades não se desfazem.

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma forma de análise em um Canal VHF Aeronáutico, assim como os elementos inerentes a este Canal. Verifica-se a possibilidade de uma aferição nas comunicações que utilizam o Canal VHF desde que se conheçam os índices de ruídos emissores no ambiente analisado.

A análise através das comparações dos espectrogramas demonstra que há condições de descoberta da fonte emissora mesmo que não se tenha, inicialmente, definições pré-estabelecidas sobre o ambiente emissor. Em ambientes como os aeroportos onde existem várias fontes emissoras de ruídos e suas diferentes freqüências, esta ferramenta torna-se eficiente para realização de tal tipo de análise.

Assim, através da análise espectrografia passa a ser oferecido uma forma de identificação nas comunicações que ocorrem durante a utilização do Canal VHF.

REFERÊNCIAS

Aerotecnologia (2002) "*Telecomunicações Aeronáuticas*". Disponível em: <http://aerotecnologia.com.br>. Acessado em: 09 de julho de 2006.

Chapman, D. (2001) "*Harmonics - Causes and Effects"*. Copper Development Association. London.

Coelho, A. C.;Luciano (2006) "*Detecção de Aviões, Meteoros e Raios Cósmicos Utilizando Sinais de RF*". Trabalho de Iniciação Cientifica. Universidade de Juiz de Fora

Malvern, A. (1988) "*Improvements to VHF Air-to-Ground Communication*" IEEE, pp:3/1 - 3/7.

Gallo, M. A., Hancock, W. M. (2003) "*Comunicação entre Computadores e Tecnologias de Redes*". São Paulo. Pioneira Thomson Learning.

GAMA, A. P. *et al.* (2004) "*Caracterização de Ruído de Equipamentos de Apoio em Solo de Aeroportos*". IV Congresso Ibero-Americano de Acústica. Portugal.

ICAO. (1996) "*ANNEX 10 - Aeronautical Telecommunications*". Volume 1 - Radio Navigation AIDS.

ICAO. (1993) "*ANNEX 16 - Enviromental Protections*". Volume 1 - Aircraft Noise.

LaBerge, C. E. F, Fistas, N. (2004) "*The Impact of VHF-on-VHF Interference in Aeronautical Communications Applications*". IEEE, pp:1.A.3-1 - 1.A.3-127.

Martins, L. G. "*Representação de Sinais Sonoros*". Acessado em 12 de julho de 2006. Disponível em <http://www.porto.ucp.pt>

Masson, F. *et. al*. (2006) "*Bluethooth - Um Estudo Sobre a Tecnologia Implementada*". Monografia. Universidade de Brasília.

Ministério da Aeronáutica (1999) *Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo* - IMA 100-12.

Ministério da Aeronáutica (1999a) *Telecomunicações Aeronáuticas*- IMA 100-6.

Presidência (1986) "*Código Brasileiro de Aeronáutica - Lei nº 7.565 de 19 de dezembro de 1986*". Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L7565.htm>. Acessado em: 12 de julho de 2006.

Rossi, M. A. *et. al*. (2005) "*Um Novo Conceito para Redes de Telecomunicações Aeronáuticas e a Aviação Civil Brasileira*". pp: 307. IV Simpósio de Transporte Aéreo. São José dos Campos.

Schawarz, R J.; Friedland,B. (1972) "*Sistemas Lineares 1*". Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro.

SEPC.(2006) "*Manual de Implementação de Aeroportos*". Acessado em 12 de julho de 2006. Disponível em: < http://www.dac.gov.br/>.