

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

Thaís Amaral Vieira

Especificação técnica de um
transceptor VHF para aeronaves no
espaço aéreo brasileiro

Niterói – RJ

2020

Thaís Amaral Vieira

Especificação técnica de um transceptor VHF para aeronaves no espaço aéreo brasileiro

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Campanha Carrano

Niterói - RJ

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

V657e Vieira, Thais Amaral
 Especificação técnica de um transceptor VHF para
 aeronaves no espaço aéreo brasileiro / Thais Amaral Vieira
 ; Ricardo Campanha Carrano, orientador. Niterói, 2020.
 28 f.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
 de Telecomunicações)-Universidade Federal Fluminense, Escola
 de Engenharia, Niterói, 2020.

 1. Rádios definidos por software. 2. VHF. 3. Aeronáutica.
 4. Produção intelectual. I. Carrano, Ricardo Campanha,
 orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
 Engenharia. III. Título.

CDD -

Thaís Amaral Vieira

Especificação técnica de um transceptor VHF para aeronaves no espaço aéreo brasileiro

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro de Telecomunicações.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ricardo Campanha Carrano - Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Natália Castro Fernandes
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. René Pestre Filho
Universidade Federal Fluminense - UFF

Niterói - RJ

2020

Resumo

Rádios Definidos por *Software* (SDR) são a evolução das comunicações em VHF e, pensando nisso, este trabalho vem abordar as características necessárias para que o sistema atualmente utilizado pelo Comando da Aeronáutica no controle do espaço aéreo brasileiro seja atualizado, especificando as informações técnicas mínimas para o estabelecimento do sistema. Além disso, é feita uma introdução acerca do tema em questão, apresentando suas diferenças em relação aos rádios digitais simples e vantagens de sua aplicação.

Palavras-chave: Rádios Definidos por *Software*. VHF. Comando da Aeronáutica. Espaço aéreo brasileiro.

Abstract

Software-defined radios (SDR) are the evolution of communications in VHF and taking that in mind this work explains the characteristics that the system currently in use by the Air Force Command to control the Brazilian air space can be updated, specifying the minimal technical information needed. Besides that, it is made an explanation about this matter, showing the difference between digital radios and Software-defined radios (SDR) and the benefits of using SDR.

Keywords: *Software* Defined Radios. VHF. Air Force Command. Brazilian airspace.

Dedico este trabalho à minha mãe e melhor amiga,
Fabiene Amaral de Medeiros. Sem você, eu nada
seria.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e ao meu anjo da guarda, minha avó Lourdes, que nunca me abandonou e que com certeza está radiante com essa minha conquista. Agradeço também à minha família, avós, pais, irmãos, tios, primos e vizinhos, que são a família que eu escolhi. Em especial, gostaria de citar alguns nomes, como o do meu avô Ronald, minha avó Schirley, meu pai João Luiz, minha irmã Fernanda, minha madrinha Bernardette, minha tia Lilianny e aos meus queridos amigos Rodolfo, Julya, Carol e Maria Eduarda. Às minhas amadas Telecats, que tornaram essa jornada inesquecível e eterna, por toda troca de conhecimentos, ajuda, amizade e companheirismo. Às amigas tão especiais Maria José e Gabriela, por sempre acreditarem em mim e por todo apoio que me deram. Em algum ponto da minha vida, vocês se tornaram essenciais e me mostraram o que o amor é capaz de fazer. Por isso, sem vocês, eu com certeza não teria chegado até aqui!

Gostaria de agradecer aos meus professores, por todo conhecimento compartilhado, especialmente a minha Coordenadora, professora e amiga Paula Brandão. Obrigada por desempenhar seu papel com maestria e, por muitas vezes, ir além das suas obrigações e colocar seu coração e humanidade no seu trabalho. Jamais esquecerei.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Ricardo Carrano, por toda paciência, ajuda, disponibilidade, conhecimento e principalmente amizade que demonstrou por mim. Sem você, minha conquista não seria possível e tenha certeza que terá em mim, sempre, uma admiradora e amiga!

Por último, queria agradecer à pessoa que foi fundamental para essa conquista, minha mãe, Fabiene. Você é o motivo de toda minha garra e perseverança. Por muitas vezes, me senti fraca e você foi o meu alicerce, me levantando e mostrando o caminho a seguir. Eu sou o que sou, única e exclusivamente por você! Te amo.

Lista de Figuras

Figura 1. Arquitetura de um SDR	4
Figura 2. Exemplo de um SDR Modal	5
Figura 3. Exemplo de um SDR Reconfigurável	5
Figura 4. Placa USRP Ettus B210 [Research 2015]	6
Figura 5. Comparação entre as plataformas	10
Figura 6. Especificação dos Rádios T6-IP	13

Sumário

Resumo	iv
Abstract	v
Agradecimentos	vi
Lista de Figuras	vii
1 Introdução	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Objetivo geral e estrutura do trabalho	1
2 Rádios Definidos por Software	3
2.1 Plataformas de SDR	6
2.1.1 USRP	6
2.1.2 SORA	7
2.1.3 SODA	7
2.1.4 FLAVIA e softs-MACs	8
2.1.5 Outras plataformas	9
2.2 Comparação entre as plataformas de SDR	9
3 Especificação Técnica	12
4 Conclusão	15
Referências Bibliográficas	16

Capítulo 1

Introdução

1.1 Apresentação

Rádios Definidos por Software (Software Defined Radios – SDR) são um sistema de comunicação rádio onde alguns dos componentes que antes eram implementados em *hardware* (por exemplo, filtros, moduladores/demoduladores, detectores *etc.*) são agora implementados em *software*, por meio de um computador pessoal ou até mesmo por sistemas embarcados. Isso se deve ao progresso em diversas áreas, como conversores analógico-digitais, transmissão digital, processamento digital de sinais, antenas multi-banda, arquiteturas de *software* e, principalmente, na capacidade de execução de novos processadores de modo geral.

Dessa forma, os SDR trazem inúmeras vantagens para o desenvolvimento de soluções sem fio em sistemas de comunicações militares. Algumas dessas vantagens mais relevantes são a interoperabilidade dos rádios militares com os de outras agências governamentais (bombeiros, polícia, agências de inteligência, entre outros), a portabilidade de formas de onda e a possibilidade de atualização com os mais recentes avanços nas comunicações de rádio sem a necessidade da substituição de *hardware*.

1.2 Objetivo geral e estrutura do trabalho

O objetivo deste trabalho é fornecer os requisitos mínimos para a substituição dos rádios VHF usados atualmente pela Aeronáutica Brasileira por novos rádios definidos por *software*. Para isso, primeiramente é feita uma breve introdução sobre os rádios definidos por *software*, suas características e diferenças em relação aos rádios convencionais. No capítulo 3, é apresentada a especificação técnica com os requisitos que os rádios devem possuir para integrar o sistema de comunicação da Aeronáutica Brasileira. E finalmente, no capítulo 4 é feita a conclusão, mostrando as

vantagens e desvantagens dessa nova abordagem de comunicação.

Capítulo 2

Rádios Definidos por Software

O termo “Rádio Definido por *Software*” foi criado em 1991 por Joseph Mitola III, para mostrar a diferença entre os rádios digitais já existentes e os novos rádios definidos por *software* com multimodos e multibandas. Até 1990, 80% das funcionalidades de um rádio eram fornecidas por *hardware*. Após 1991, começou a ocorrer o oposto, onde 80% das funcionalidades dos rádios passavam agora a serem definidas por *software*. Ou seja, as formas de onda geradas para a transmissão e recepção das informações são implementadas em *software* numa plataforma de *hardware*.

Em sua versão mais ambiciosa, além do microprocessador que carregaria o *software* com as funções de rádio, as únicas peças de *hardware* remanescentes necessárias seriam os conversores A/D e D/A de alta velocidade, o sistema de antenas e o chamado *front/end* de RF, onde alguma amplificação, filtragem e/ou conformação do sinal de RF se faz necessária antes da digitalização na recepção, ou na conversão em sinal de RF na transmissão. Nos Rádios Definidos por Software, o sinal que é recebido pela antena pode ser digitalizado imediatamente após o estágio de amplificação de RF, e no caso da transmissão o sinal digitalizado pode ser convertido para analógico antes do estágio de amplificação RF, como mostra a arquitetura abaixo:

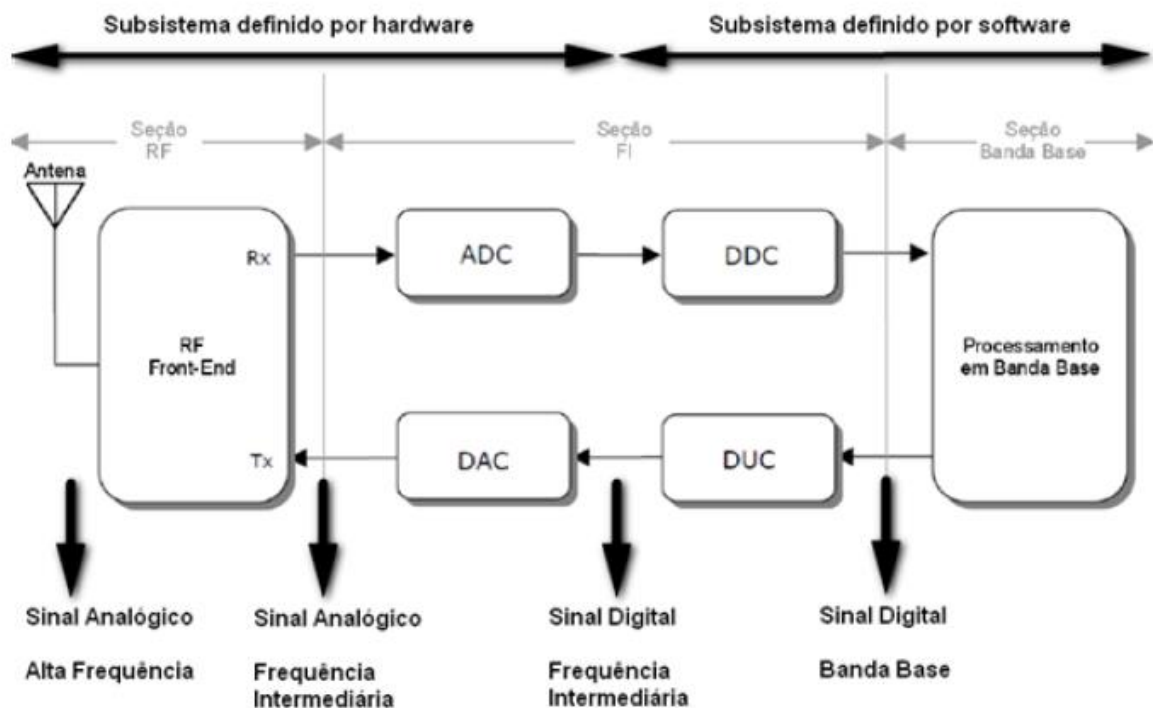


Figura 1. Arquitetura de um SDR

Os rádios definidos por software também apresentam soluções robustas a variações de temperatura e envelhecimento de seus componentes, uma vez que transfere o processamento para o domínio digital, deixando de ter seu desempenho atrelado à precisão dos componentes analógicos do rádio. Outras questões, como manutenção e operação dos equipamentos também são beneficiadas pela arquitetura do sistema. Correções de erros, adaptações ou aprimoramentos das funções podem ser feitos sem que o rádio precise ser desligado ou sem que a infraestrutura seja alterada.

Para implementar um SDR, existem duas arquiteturas principais: SDR Modal e SDR Reconfigurável. O SDR Modal funciona como um rádio com N implementações, que são alternadas de acordo com a necessidade. Seu surgimento ocorreu na década de 90, quando as tecnologias celulares passaram a ser gradualmente modificadas de analógicas para redes digitais. Nesse cenário, eram necessários telefones que oferecessem serviços digitais na maior parte do tempo, mas que também suportassem o modo analógico, para as áreas onde a cobertura digital ainda não existia. Ou seja, os chipsets analógicos e digitais eram combinados dentro do aparelho e um software

realizava o chaveamento entre eles. Esse tipo de arquitetura continua a ser uma boa alternativa para aplicações onde há uma necessidade limitada de flexibilidade, como no caso de redes celulares que fornecem conectividade 3G e 4G. Já o SDR Reconfigurável emprega hardware programável para fazer o processamento dos sinais, podendo assim suportar uma quantidade ilimitada de padrões e técnicas de transmissão. O elemento programável pode ser composto por FPGAs (Field Programmable Gate Array), DSPs (Demand Side Platform) e/ou CPUs (Central Processing Unit), que podem ser programados para realizar operações de processamento de sinais em alta velocidade.

As figuras abaixo mostram exemplos de SDR Modal e Reconfigurável, onde as caixas cinzas indicam componentes baseados em software e as caixas brancas indicam componentes baseados em hardware.

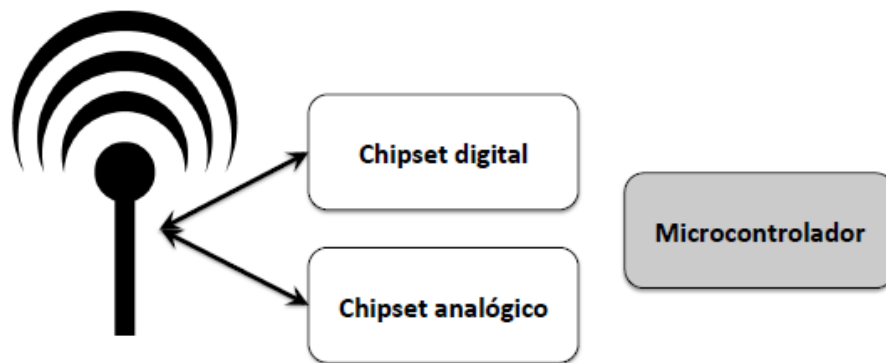


Figura 2. Exemplo de um SDR Modal

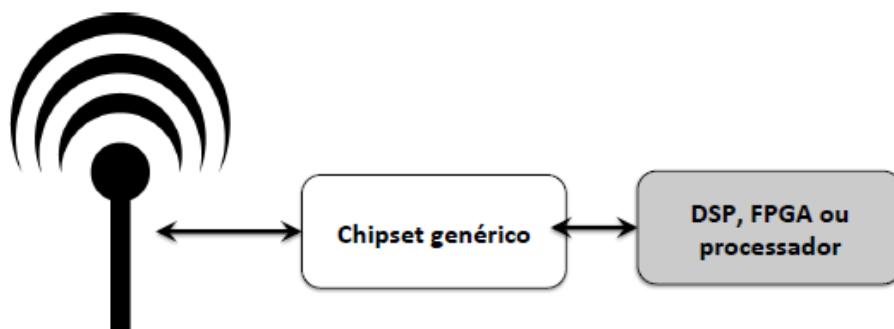


Figura 3. Exemplo de um SDR Reconfigurável

2.1 Plataformas de SDR

Nesta seção, serão apresentadas algumas plataformas disponíveis de SDR e suas principais características.

2.1.1 USRP

USRP (Universal Software Radio Peripheral) é um framework para o desenvolvimento de rádios digitais, proporcionando uma infraestrutura completa para o processamento de sinais. O sistema caracteriza-se por sua alta flexibilidade e custo-benefício. No USRP, mais de uma antena pode ser ligada ao dispositivo, dependendo das exigências do usuário. Possibilita ainda a ligação simultânea de antenas para transmitir e receber sinais usando MIMO. USRPs são programadas com o software GNU Radio, simplificando o desenvolvimento de novas soluções SDR através da reutilização de funcionalidades existentes.

As placas filhas (daughter-boards) implementam o front-end de rádio frequência do USRP e executam a conversão digital/analógica, definindo assim a potência e frequência dos sinais emitidos e recebidos. O USRP trabalha com potências de sinal entre 50 e 200 mW e permite a ligação de várias placas filhas simultaneamente. Uma placa USRP popular é a Ettus Research N210 [Ettus Research b], que inclui conversores ADC e DAC, um FPGA, uma interface Ethernet Gigabit para se comunicar com o computador, e uma interface serial de alta velocidade para a integração com outras placas, permitindo o desenvolvimento de sistemas MIMO. O FPGA pode realizar a totalidade ou uma parte do processamento de sinal digital, permitindo, se for configurado, transferir o processamento para outros dispositivos de computação, tais como um computador, via Ethernet ou USB.

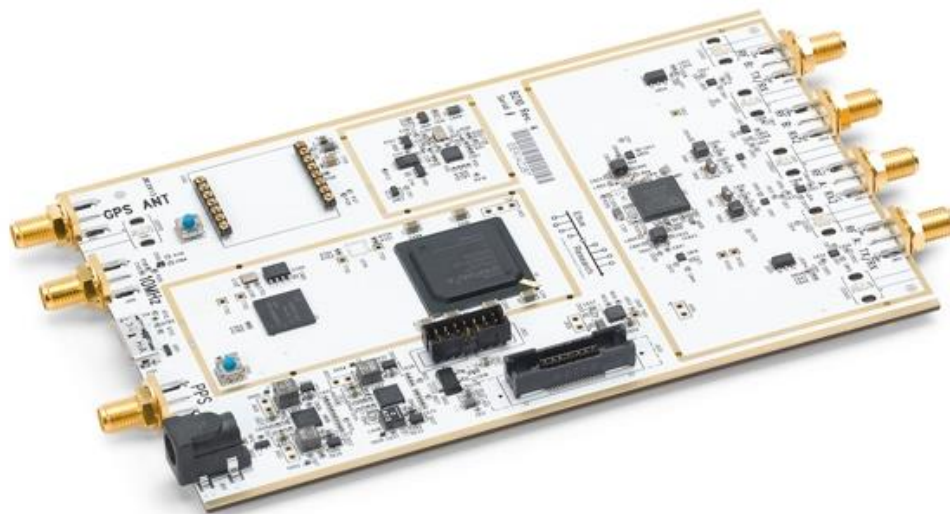


Figura 4. Placa USRP Ettus B210 [Research 2015]

2.1.2 SORA

SORA é um pseudônimo para Microsoft Research Software Radio, que é a plataforma SDR desenvolvida pela Microsoft Research (MSR) Ásia em Pequim. Ela combina o desempenho e a fidelidade da SDR baseada em hardware com a programação e flexibilidade de um processador de propósito geral (Generic Purpose Processor – GPP). Usando apenas um computador pessoal, permite o desenvolvimento de novas tecnologias em redes sem fio sem a necessidade de hardware específico, possuindo, assim, somente um decodificador de banda base, e todo o processamento é feito por uma CPU x86.

O processamento de sinal na camada física requer quantidades significativas de processamento, e a camada física e protocolos MAC exigem temporização rigorosa e baixa latência. SORA usa técnicas tanto de hardware quanto de software para superar estes desafios. Como uma solução para a alta taxa de transferência de dados, a MSR emprega uma placa de controle de rádio (Radio Control Board – RCB) para a transmissão e recepção de sinal, que é conectada ao PC por um barramento PCI Express de baixa latência. Com este barramento, o RCB pode suportar até 16.7Gbps (modo PCI-e 8x) com latências inferiores a um microssegundo. Esta capacidade satisfaz os requisitos de tempo de padrões de alta velocidade, como o IEEE 802.11g.

2.1.3 SODA

SODA é uma implementação SDR de baixo consumo [Lin et al. 2006]. Ela foi desenvolvida como um processador de propósito especial, projetado para as operações mais comuns necessárias para a implementação de PHY e camadas MAC em software. Como consequência, SODA emprega várias unidades de processamento paralelo, com pouca ou quase nenhuma intercomunicação.

O projeto do SODA foi baseado em uma análise cuidadosa do fluxo de dados e operações realizadas em um transceptor sem fio. Esta análise mostrou que as operações comuns do transceptor não exigem interação com outras operações em execução. A única comunicação entre elas ocorre quando uma determinada operação for concluída, e a sua saída deve ser encaminhada para a próxima operação, formando um pipeline. Este pipeline também influenciou o modelo de execução do SORA, pois cada tarefa é estaticamente atribuída a uma unidade de processamento. O número de unidades de processamento, bem como o tamanho das instruções SIMD (Single Instruction Multiple Data) foi definida de acordo com simulações, que identificaram a quantidade de níveis de pipeline que minimizava o consumo de energia da arquitetura. Finalmente, a arquitetura também emprega um processador ARM para o processamento de protocolos da camada MAC, que requerem um conjunto de instruções mais genérico.

SODA foi empregada para implementar dois padrões importantes de redes sem fio: W-CDMA e 802.11a. Em ambos os casos, SODA apresentou vazão (throughput) suficiente para a boa execução dos protocolos. Por fim, os autores avaliaram o consumo de energia de SODA usando um sintetizador, mostrando que esta arquitetura poderia atender às restrições de energia de dispositivos móveis se produzido usando métodos de fabricação baseados na tecnologia de 90 nm ou 65 nm.

2.1.4 FLAVIA e soft-MACs

Existem diversas plataformas para desenvolvimento de protocolos MAC em software, que são conhecidas na literatura como soft MACs. Nestas plataformas, o programador possui uma camada física fixa, e o mesmo implementa somente a subcamada MAC da camada de enlace. Os soft MACs, apesar de mais limitados que um SDR completo, são mais fáceis e amigáveis de programar. Um exemplo muito interessante de soft MAC é o FLAVIA, que será descrito a seguir.

O FLAVIA executa aplicações SDR em placas sem fio de baixo custo, permitindo o fácil desenvolvimento de novos protocolos MAC [Tinnirello et al. 2012]. A plataforma emprega um firmware modificado, que é carregado em transceptores que empregam um chipset bem conhecido e popular no mercado. O firmware implementa uma máquina de estados finitos baseada em eventos, onde os eventos são situações comuns em protocolos sem fio: início de um intervalo de contenção, colisão, recepção de um quadro de confirmação etc. O projeto FLAVIA está limitado ao protocolo MAC em 2.4GHz, uma vez que não é possível implementar novos módulos para processamento e modulação do sinal, ou mudar a frequência de operação.

No FLAVIA, os usuários podem criar novos protocolos sem fio utilizando os eventos pré-definidos. Assim, ele oferece uma linguagem de programação de propósito específico e de nível de abstração superior ao das outras plataformas. Ele é de fácil programação e possui uma interface gráfica básica, onde o usuário constrói o seu código rapidamente. A limitação da plataforma é a falta de extensibilidade, uma vez que apenas os estados e eventos fornecidos pelos autores são suportados. Além disso, não é possível criar programas mais complexos, uma vez que a plataforma tem um número limitado de registros e operações condicionais.

FLAVIA foi implementado em um chipset descontinuado, de forma que não é mais possível comprar placas para PCs. Entretanto, este chipset ainda pode ser encontrado em alguns roteadores IEEE 802.11g disponíveis no mercado por até R\$300,00. Esses roteadores podem ser programados usando distribuições Linux baseadas em ARM, como OpenWRT [Ope]. O OpenFWWF (Open Firmware for Wi-Fi) [Gringoli and Nava] é um projeto open source gerado a partir de FLAVIA, que divulgou as especificações da memória e registradores usados no firmware, bem como o seu código fonte. Entretanto, os desenvolvedores estão pouco ativos, e poucas atualizações foram realizadas no código depois que o projeto se separou do FLAVIA.

2.1.5 Outras plataformas

Além das plataformas citadas acima, existem muitas outras plataformas de pesquisa e comerciais de SDR. Uma lista mais completa pode ser encontrada na página Wikipedia de SDR4. Uma plataforma importante do ponto de vista da pesquisa é o

WARP [Murphy et al. 2006] [Amiri et al. 2007], pois é muito empregada nos EUA e em outros países na pesquisa experimental em redes de computadores e telecomunicações. Entretanto, as placas são muito custosas, partindo de USD 5.000 a unidade. Outra plataforma interessante é o chip RTL2832U. Este chip é muito empregado por placas de TV digital, mas hobbistas descobriram que o mesmo pode ser utilizado como uma ótima plataforma SDR de baixo custo, custando apenas 40 dólares a unidade.

2.2 Comparação entre as plataformas de SDR

Como vimos anteriormente, há uma grande variedade de arquiteturas e formas de propagação. Há opções onde todo o processamento é realizado em CPUs x86 ou ARM, onde a curva de aprendizado é pequena, pois os programadores utilizam linguagens populares no mercado. Uma forma de aliviar esta limitação é o uso de arquiteturas que empregam FPGAs e DSPs para tarefas de baixa latência e alta vazão, e processadores genéricos para tarefas mais lentas, como protocolos MAC.

Por outro lado, propostas como o SODA partiram para o uso de processadores de propósito específico no SDR. O benefício desses processadores é uma maior velocidade, menor área de chip e menor consumo de energia. Entretanto, a programação para estas plataformas é mais complexa, requerendo compiladores e linguagens apropriados. A figura a seguir apresenta uma comparação entre as arquiteturas discutidas, onde os valores do eixo das ordenadas não são mostrados por ter sido feita uma comparação qualitativa e não quantitativa.

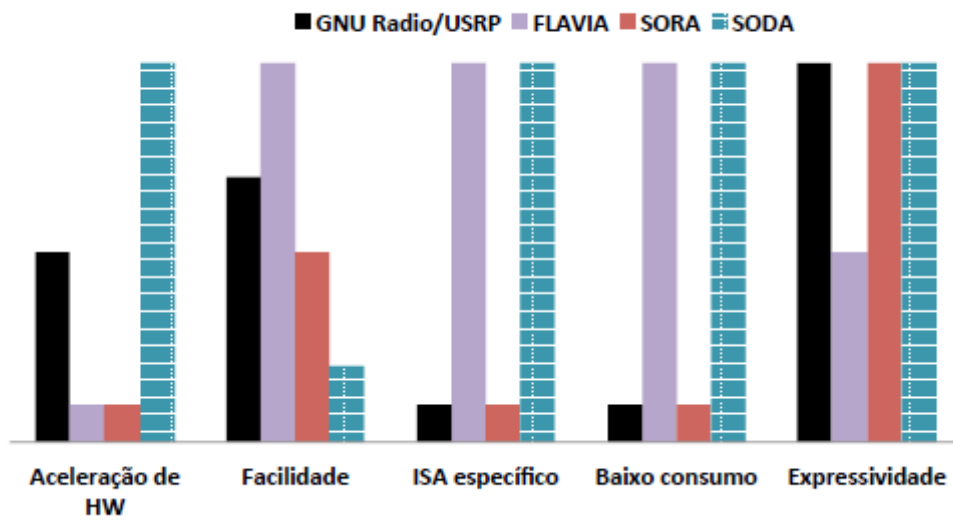


Figura 5. Comparação entre as plataformas

Capítulo 3

Especificação Técnica

O voo, em qualquer espaço aéreo do mundo, deve obedecer a regras internacionais e também específicas de cada país onde aconteça. No Brasil, o órgão responsável pela fiscalização e regulamentação do espaço aéreo é o DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Para uma aeronave entrar em um espaço aéreo controlado, ela precisa estar equipada com rádio VHF, para comunicação bilateral, e possuir transponder modo C, que nada mais é que um transceptor de rádio que responde automaticamente ao Centro de Controle toda vez que é interrogado, enviando informações como velocidade, altitude e posição onde a aeronave se encontra.

O atual sistema de rádios VHF utilizado pela Aeronáutica são do modelo T6-IP e atendem às características do Serviço Móvel Aeronáutico com operação em AM analógica e em VDL (VHF Data Link) Modo 2 para comunicação em voz, apresentando conformidade com o Anexo 10 da OACI (Organização Internacional da Aviação Civil), em sua última emenda, para ambos os modos de operação. Esses rádios são fabricados pela Park Air Systems exclusivamente para a Aeronáutica Brasileira, por se tratar de rádios mais antigos e que são estabelecidos em contratos para a manutenção do sistema de controle do espaço aéreo. O sistema atual é todo redundante, visando uma confiabilidade maior e estabilidade do sistema. As especificações dos rádios T6-IP da Park Air encontram-se listadas abaixo:

T6 RADIO SPECIFICATIONS:	
Frequency Range:	112 MHz to 156 MHz, or 225 MHz to 400 MHz
Output Power:	5W to 50W
Waveforms:	AM Voice; ACARS; VDL-M2; AM Wideband
Transmitter Broadband Noise:	<160 dBc/Hz at 1% f0 offset
Receiver Sensitivity:	<107 dBm (for 10 dB [S+N]/N with ITU-T weighting)
Receiver Cross Modulation Rejection:	>105 dB [200 kHz from f0]
Transceiver Weight:	<6kg
Size (hwd):	79 mm (2U) x 210 mm x 420 mm

Figura 6. Especificação dos Rádios T6-IP

De acordo com a ICA 102-9 (Instrução do Comando da Aeronáutica), que fixa as características mínimas requeridas para os equipamentos de radiocomunicação e radionavegação a bordo das aeronaves voando em espaço aéreo sob jurisdição do Brasil, os equipamentos são divididos em três categorias: básicos, suplementares e adicionais. Os equipamentos básicos são aqueles estabelecidos pelo Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA-91, RBHA-121 e RBHA-135) e nas disposições da ICA 100-11 “Plano de Vôo”, sendo eles: transceptores de VHF-AM, transceptores de HF, receptores radiogoniométricos (ADF), receptor de VOR/LOCALIZER, receptor de GLIDE SLOPE, receptor DME, transponder, receptor de MARKER BEACON, transceptor localizador de emergência (TLE) em VHF, transceptor localizador de emergência (TLE) em UHF e equipamentos em aeronaves experimentais e balões.

Este trabalho irá focar nos transceptores de VHF-AM utilizados atualmente pelo Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) para comunicação terra-ar, propondo uma atualização para rádios em VHF definidos por *software*. Para tanto, precisamos pontuar as atuais especificações técnicas dos rádios utilizados pelo SISCEAB, que deverão ser seguidas pelos novos rádios. São elas:

- Transceptor de VHF-AM

- Toda e qualquer aeronave, que opere no espaço aéreo brasileiro, em rotas ou áreas sujeitas ao controle de tráfego aéreo, deverão possuir todas as frequências necessárias para operar em tais rotas ou áreas.
- A faixa de frequências de VHF-AM utilizada no Brasil, para comunicações do Serviço Móvel Aeronáutico, está compreendida entre 118,000 e 136,975 MHz.
- Todos os transceptores de VHF-AM devem operar com espaçamento máximo de 25 kHz.
- Transmissor
 - Estabilidade de frequência de $\pm 0,003\%$
 - Potência de Saída de 5W
 - Capacidade de, no mínimo, atingir um índice de modulação de 85%
- Receptor
 - Sensibilidade de 3 microvolts para relação sinal/ruído de 6 dB
 - A variação do nível de saída de áudio não deve ser superior a 6 dB para sinais de entrada entre 5 microvolts e 50 milivolts
 - Saída de áudio de 50 miliwatts de 600 Ohms
- Os transceptores instalados em aeronaves empregadas em vôos internacionais deverão abranger a faixa de frequência de 118,000 a 136,975 MHz, perfazendo um total de 760 canais.
- Os transceptores instalados em aeronaves empregadas em vôos domésticos, dentro do espaço aéreo brasileiro poderão abranger somente a faixa de frequências de 118,000 a 135,975 MHz, perfazendo um total de 720 canais.
- O MTBF (tempo médio entre falhas) dos equipamentos deve ser tal que resulte um MTBF equivalente para cada frequência de não menos que 10.000 horas.
- Os rádios deverão operar nas seguintes condições ambientais:
 - Temperatura: -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$
 - Umidade relativa: até 95%, com fungos
 - Altitude máxima: 3000m

Capítulo 4

Conclusão

Rádios definidos por *software* são agora uma realidade, como se vê pela quantidade de plataformas comerciais e gratuitas disponíveis no mercado. Diversos fatores contribuem para a redução do custo final do produto, como a redução da complexidade do *hardware* e a eliminação de muitos elementos passivos e ativos do rádio, antes responsáveis pelo processamento e modulação do sinal.

Como dito anteriormente, os rádios VHF utilizados atualmente pela Aeronáutica são fabricados exclusivamente para ela, por serem rádios mais antigos. Dito isso, a solução de rádios definidos por software traria vantagens não apenas tecnológicas e logísticas, mas também financeiras.

Como as especificações apresentadas anteriormente não apresentam nenhuma dificuldade no tocante às suas implementações, sendo apenas detalhes programáveis, como por exemplo frequência e potência de entrada, o SDR surge como uma aplicação viável e ainda, trazendo benefícios como a interoperabilidade, custo inferior e maior flexibilidade às operações realizadas pela Aeronáutica.

Referências Bibliográficas

- [1] CARDOSO, Bruno Pereira. **Proposta de experiências de FM usando rádio definido por software**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2013. Disponível em:
<<http://www.aer.ita.br/conteudo/propostas-experi-ncias-fm-e-qpsk-usando-r-dio-definido-por-software>>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- [2] SILVA, Wendley S.; CORDEIRO, Jefferson Rayneres S.; MACEDO, Daniel F.; VIEIRA, Marcos A. M.; NOGUEIRA, José Marcos S. Introdução a Rádios Definidos por Software com aplicações em GNU Radio, [s. l.], [2015?]. Disponível em: <http://sbrc2015.ufes.br/wp-content/uploads/Ch5.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- [3] DIAS, Maurício Henrique Costa; MORAES, Felipe Drumond. Conhecimentos de interesse da doutrina sobre antenas, radiopropagação e tecnologia de rádios HF no emprego das comunicações em operações na selva na era da informação, [s. l.], 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/276278791_Conhecimentos_de_Interesse_da_Doutrina_sobre_Antenas_Radiopropagacao_e_Tecnologia_de_Rádios_HF_no_Emprego_das_Comunicacoes_em_Operacoes_na_Selva_na_Era_da_Informacao. Acesso em: 13 jan. 2020.
- [4] MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. PORTARIA DECEA Nº 345/DGCEA, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2008. ICA 102-9: Características mínimas dos equipamentos NAV/COM a bordo de aeronaves, [S. l.], 3 dez. 2008. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=2575>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- [5] JUNIOR, Nilson M. de P.; MARQUES, Elaine Crespo; DA SILVA, Fabrício Alves Barbosa; DE MORAES, Robson França; MOURA, David Fernandes Cruz; GALDINO, Juraci F. Introdução ao desenvolvimento de rádios definidos por

software para aplicações de defesa, Brasília, 2012. Disponível em:

http://150.162.46.34:8080/sbrt2012/artigos/99644_1.pdf. Acesso em: 13 jan. 2020.

- [6] ROCKEL, Edsel Paulo. Sistemas de comunicação em aeronaves desportivas: seus ruídos e possíveis soluções. Orientador: Me. Hudson Ramos. 2015. Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação (Pós-graduação Lato Sensu em Sistemas de Telecomunicações) - Escola Superior Aberta do Brasil - ESAB, Vila Velha - ES, 2015. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/paulorockel1/artigo-paulo-rockel>. Acesso em: 23 jan. 2020.