

Desenvolvimento de um Radiocontrole para Veículos Aéreos não Tripulados

Gustavo Melere¹, Vitor Valente²

TCC2 - Curso de Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Farroupilha

Farroupilha, RS, Brasil

Discente¹, orientador²

melereg@yahoo.com.br¹, vitor.valente@farroupilha.ifrs.edu.br²

Resumo—Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) são aeronaves que podem ser usados em inúmeras aplicações, desde recreação, fotografia e filmagem, controle de plantações, controle do trânsito e até uso militar. Uma das formas de controlar estes veículos é por meio do uso de radiocontroles. Os radiocontroles são equipamentos que enviam comandos para as aeronaves através de sinais de radiofrequência. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um radiocontrole e um receptor para VANTs, para a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFRS - Campus Farroupilha. O radiocontrole que foi projetado e montado, possuindo joysticks, potenciômetros e botões para o controle dos 12 canais disponíveis, que podem ser programados através de 5 diferentes modos de programação. A programação de cada canal é feita através de um tela gráfica e botões no próprio controle. O alcance máximo entre o controle e o receptor é de 1km.

Palavras-chave—Veículos aéreos não tripulados, radiocontrole, receptor.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de veículos aéreos não tripulados tem crescido nos últimos anos. Eles são utilizados para fins de lazer e serviços, tais como: filmagens e fotografias, controle de plantações, monitoramento do tráfego urbano, controle de desmatamento, controle de incêndios, entre outros [4].

Os VANTs podem ser utilizados para diminuir a interferência humana em tarefas perigosas, monótonas ou de longa duração, além de reduzir custos de operação e proporcionar benefícios ambientais (redução do consumo de combustível e menos emissões de CO_2). Os VANTs podem ser remotamente controlados (*RPA - Remotely-Piloted Aircraft*) ou autônomos (utilizam algoritmo para controle de trajetória) [1]. Os *RPA* podem ser controlados por computador, simulador, dispositivo digital ou radiocontrole [1]. Os radiocontroles utilizam ondas de radiofrequência para se comunicar com os VANTs e possuem diferentes configurações, englobando parâmetros como número de canais, frequência de operação, alcance entre outros.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) criou recentemente regras para o uso de VANTs no Brasil. Elas fazem parte do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) [2]. A criação desse regulamento visa facilitar uso de VANTs, criando padrões de licença para as mais variadas operações.

O setor de comunicação sem fio via rádio cresceu nos últimos anos, seja devido aos avanços tecnológicos dos circuitos digitais e radiofrequência, seja pela integração e miniaturização de circuitos, fazendo com que os equipamentos de rádio se tornassem menores, mais baratos e mais confiáveis. Além disso, as técnicas de comunicação digital facilitaram o uso das redes de radiofrequência [3]. Tudo isto possibilitou um avanço para que os VANTs e os controles de radiofrequência possam ser utilizados em grande escala, tanto para fins de lazer como para fins comerciais. A Figura 1 mostra a crescente venda de drones na América do Norte [4].

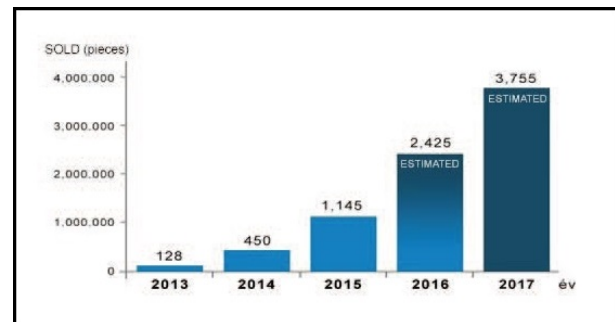


Figura 1: Venda de drones na América do Norte [4].

A flexibilidade na programação de um radiocontrole permite que ele seja utilizado não só para VANTs, mas também para outros dispositivos como veículos terrestres, navios, robôs humanoides, entre outros.

Este trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de um radiocontrole e de um receptor para VANTs, contemplando o projeto, montagem e teste do protótipo. O controle deve ser programável pelo usuário, através de uma tela gráfica, podendo alterar o modo como as várias entradas do controle modificam os canais do receptor. As programações serão salvas através de um cartão SD. Ambos os dispositivos utilizam microcontroladores Atmel para controle das operações, antenas para a comunicação operando em 2,4 GHz e alcance esperado de 1km. São 12 canais de comunicação do controle para o receptor e três canais do receptor para o controle.

O trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo I é a introdução do trabalho, no capítulo II são abordadas as revisões da literatura acerca de radiocomunicação, como

meio de transmissão, modulação, acesso ao meio e antenas; no capítulo III são abordados soluções existentes, avanços tecnológicos e a legislação para VANTs, no capítulo IV o trabalho proposto é definido, no capítulo V são apresentados os resultados e no capítulo VI as conclusões.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Radiocontroles

O radiocontrole é um dispositivo utilizado para controlar VANTs do tipo *RPA (Remotely-Piloted Aircraft)*. O controle envia as informações para os mesmos através de radiofrequência para um receptor.

O controle possui joysticks, potenciômetros, e chaves alavancas para controlar os VANTs, através de canais, que são saídas com pulsos modulados em *PWM* no receptor. O radiocontrole normalmente possui uma tela gráfica e botões para sua programação. A figura 2 mostra um radiocontrole.



Figura 2: Radiocontrole [5].

Uma das suas principais características é a flexibilidade de programação, ou seja, é possível programar como o joystick, ou o potenciômetro vai alterar o canal de saída, assim um mesmo radiocontrole pode ser utilizado para diferentes tipos de aplicações.

O receptor do radiocontrole normalmente é um equipamento pequeno, composto de pinos de saída *PWM* e pinos de alimentação para motores de baixa potência(até 10W), sua principal característica é o número de canais de saída. Um receptor de 5 canais é mostrado na Figura 3.

B. Telecomunicações

O homem tem a necessidade de se comunicar desde os tempos mais antigos. Essa comunicação vem sendo usada de acordo com a tecnologia de cada época, desde sinais de fumaça e tambores até celulares e computadores [7].

O principal objetivo das telecomunicações é se comunicar a distância. Hoje em dia os principais sistemas de comunicações



Figura 3: Receptor [6].

utilizam meios de transmissão como fios, rádio, ou fibra ótica, utilizando sinais elétricos e eletromagnéticos [8].

C. Tecnologia sem fio

Os dois meios principais para a transmissão de dados nas telecomunicações são: sistemas que utilizam o espaço livre (sistemas sem fio) e sistemas que utilizam os meios físicos para a transmissão, como cabos coaxiais, fibras óticas e cabos de telefones.

A seguir são analisados somente os meios que utilizam o espaço livre, ou mais precisamente os sistemas de radiofrequência.

As tecnologias de comunicação sem fio são regulamentadas por órgãos internacionais que regulam as comunicações em nível mundial e as nacionais que possuem normas no âmbito nacional.

A ITU(International Telecommunication Union) é responsável por coordenar as comunicações globais em redes e serviços. No Brasil, a Anatel é responsável por regulamentar e fiscalizar as comunicações no país, sendo ela vinculada ao Ministério das Comunicações, responsável por elaborar e garantir o cumprimento das políticas públicas do setor de comunicações.

No Brasil as frequências liberadas para operação sem licença acima dos 900 MHz são: de 902 MHz a 907,5 MHz; de 915 MHz a 928 MHz; de 2.400 MHz a 2.483,5 MHz; de 5.725 MHz a 5.875 MHz e de 24,00 GHz a 24,25 GHz. A resolução nº 506 da Anatel, além de definir as faixas de frequências que não necessitam de licença para uso, também define a intensidade de campo máxima da onda fundamental e de suas harmônicas para cada faixa de frequência com uso liberado [9].

Quanto maior a frequência da onda de rádio mais dados ela pode transmitir, e menor pode ser o tamanho da antena. Porém, mais atenuação ela irá sofrer devido aos obstáculos, além dos equipamentos de transmissão e recepção serem mais sofisticados. Dentro das frequências citadas acima a mais utilizada nos dias de hoje é a faixa de frequências entre 2.400 MHz e 2.483,5 MHz, devido ao seu uso no padrão IEEE 802.11, responsável por transmitir dados de internet em roteadores wi-fi e no padrão IEEE 802.15, utilizado por equipamentos com

Bluetooth ou *Zigbee*. Devido à popularidade do uso destas frequências os equipamentos que utilizam esta faixa tornaram-se mais baratos. A faixa de frequências de 5.725 MHz a 5.875 MHz está começando a ser utilizada, principalmente em roteadores wi-fi. Os sinais nesta faixa de frequência sofrem menos interferência e possuem uma velocidade de transmissão de dados maior, porém seu uso ainda é restrito e os equipamentos são mais caros.

De acordo com [3], os sistemas de comunicação podem ser classificados de três modos:

- *Simplex*: a comunicação ocorre em somente em um sentido, ou seja, um dispositivo só envia a informação e o outro somente recebe.
- *Semiduplex*: os dois dispositivos podem enviar e receber porém enquanto um esta enviando o outro só pode receber, devido ao fato deles utilizarem os mesmo canal físico tanto para enviar como para receber.
- *Duplex*: os dois dispositivos podem tanto enviar como receber simultaneamente as mensagens.

D. Propriedades dos canais de comunicação

Para que ocorra uma comunicação, as informações devem ser convertidas para sinais elétricos [8]. O sinal transmitido pode sofrer transformações para melhor se adequar ao meio, utilizando técnicas de modulação e até protocolos, sendo que o importante é preservar as características originais do sinal [10].

Canal ou o meio de comunicação pode ter mais de um significado, como mostrado por [8]:

- Pode ser o meio físico por onde a informação é transportada, como fibra ótica, fio ou rádio.
- O caminho onde o sinal passa dentro de um mesmo dispositivo, como em um rádio de som onde existem os canais direito (R - *right*) e esquerdo (L - *left*).
- Um segmento do espectro de frequência utilizado por determinada aplicação com uma determinada largura de banda, como a frequência na qual um canal de rádio é transmitido.

Ruído é tudo aquilo que, acrescentado ao sinal da comunicação, dificulta a reprodução correta do mesmo [11]. Ele pode ser gerado dentro do próprio dispositivo de telecomunicação por meio do efeito da corrente elétrica ou por meio de ondas eletromagnéticas vindas do espaço livre [8].

Largura de faixa ou largura de banda é o intervalo em torno da frequência fundamental do canal. Este é expresso em Hertz (Hz) e delimita o canal para que não haja sobreposição de dois canais diferentes, o que poderia causar distorções na mensagem [8].

A atenuação do sinal ocorre quando o sinal original é modificado como, por exemplo, quando as capacitâncias e indutâncias parasitas presentes em fios e cabos modificam o sinal [8]. A atenuação de um sinal pode ser vista na Figura 4, onde em *a* são os pulsos transmitidos e em *b* são os pulsos recebidos com distorção.

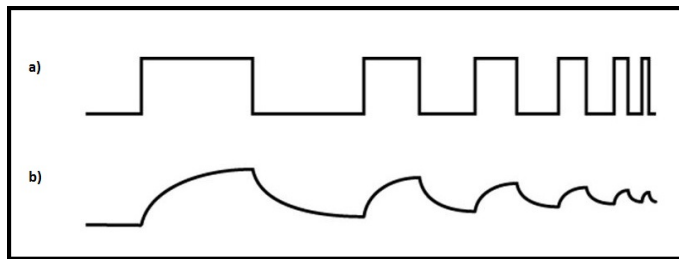


Figura 4: Atenuação do Sinal.

E. Modulação

Modulação é a transformação de sinais de informações para uma onda portadora de alta frequência. A portadora de alta frequência pode ser uma senoide, e pode ter três de seus parâmetros modificados: a amplitude, a frequência e a fase [11]. De acordo com [8] a importância da modulação é percebida quando se analisa o tamanho da antena em função do comprimento da onda do sinal. O tamanho de uma antena deve ser da mesma ordem de grandeza do comprimento da onda (λ) do sinal, descrito em 1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

Onde: v = velocidade da luz, f = frequência do sinal

Deste modo, quanto maior a frequência utilizada, menor pode se a antena.

O sinal modulador é a mensagem a ser transmitida. A onda de frequência mais elevada é o sinal portador e a transformação entre o sinal modulador e o portador é o sinal modulado. Existem dois tipos de modulação, a analógica e a digital, sendo que esta última tem sido cada vez mais utilizada, devido aos avanços tecnológicos alcançados neste ramo da tecnologia.

A modulação digital oferece inúmeros benefícios em comparação a modulação analógica, porém a modulação analógica ainda é utilizada em sistemas de rádio da primeira geração [3]. A modulação digital possui o mesmo modelo básico da modulação analógica, porém ela se torna mais complexa, devido aos conversores A/D, do modem e da correção de erros [8]. A seguir são apresentados os principais tipos de modulação analógica e digital.

1) *Modulação AM*: A modulação AM consiste em modificar a amplitude da onda portadora, que é uma onda com uma frequência muito maior que o sinal modulante, de acordo com a amplitude do sinal modulante. A Figura 5 mostra a modulação em amplitude, sendo que em *a* é mostrado o sinal modulante e em *b* o sinal modulado pelo sinal portador.

2) *Modulação FM*: A modulação em FM modifica a frequência da onda portadora proporcionalmente a amplitude do sinal modulante. A Figura 6 mostra o sinal modulante e abaixo o sinal modulado pela portadora de alta frequência. Neste caso, quanto mais alta a amplitude do sinal de dados maior a frequência do sinal modulado.

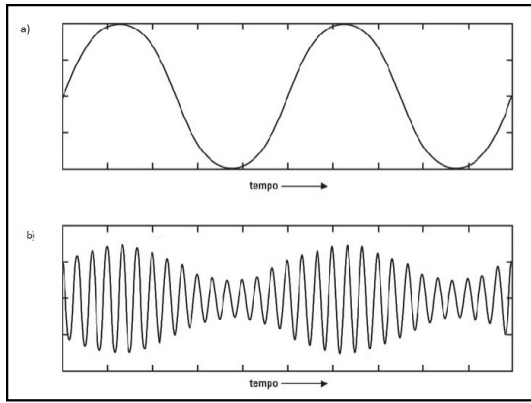


Figura 5: Modulação em AM [3].

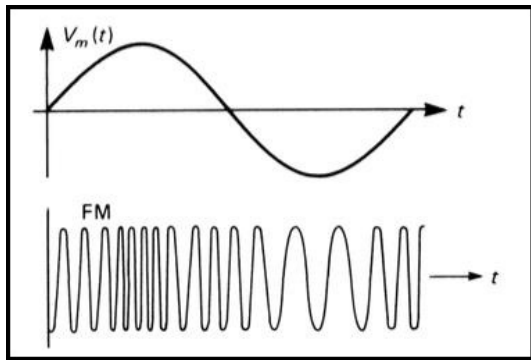


Figura 6: Modulação em FM [3].

3) *ASK (Amplitude Shift Keying)*: Essa modulação consiste em mudar a amplitude da onda portadora para dois níveis de amplitude, representando os bits 0 e 1. O tipo mais simples é o *on-off* ou portadora com interrupções, conforme mostra a Figura 7. Esse tipo de modulação apresenta uma baixa imunidade ao ruído devido à parte onde a portadora é igual a 0. O ruído pode ocupar este espaço sendo interpretado como um bit 1 [8].

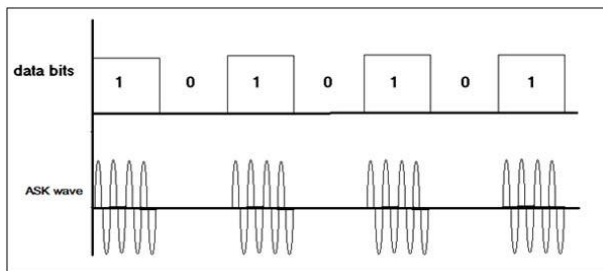


Figura 7: Modulação em ASK.

4) *Modulação FSK (Frequency Shift Keying)*: A modulação por *FSK* consiste em alterar a frequência da portadora em duas frequências distintas, como é possível ver através do sinal modulado na Figura 8 [7].

Esse método de modulação é bastante utilizado nos sistemas de rádio e apresenta uma maior imunidade ao ruído em

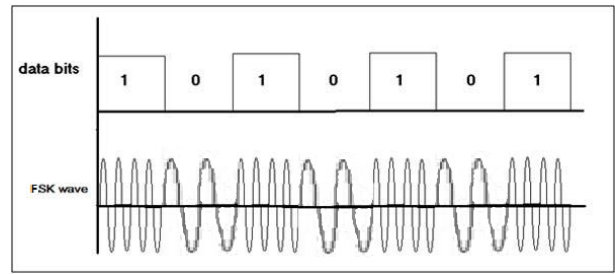


Figura 8: Modulação em FSK.

comparação com a modulação *ASK* [8].

5) *Modulação PSK (Phase Shift Keying)*: Nessa modulação a fase da onda portadora é alterada para representar dois ou mais níveis distintos. A Figura 9 mostra o *PSK* binário (*BPSK*), onde é possível ver a mudança da fase da onda na troca entre os bits 1 e 0 [8].

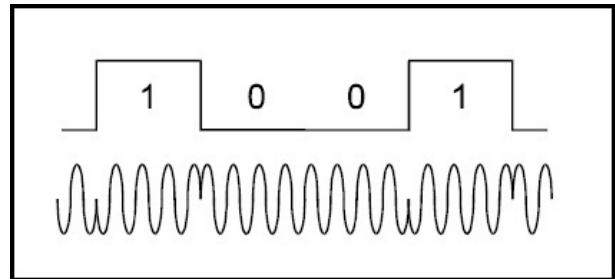


Figura 9: Modulação em PSK binário.

A grande vantagem dessa técnica é poder transmitir mais de 1 bit por vez, criando não somente dois níveis de fase, mas também múltiplos de 2^n fases distintas. O *PSK* quaternário (*QPSK*) utiliza quatro fases diferentes para a mesma onda. Cada um dos quatro níveis representa dois bits ao mesmo tempo, como mostras a Figura 10 [7].

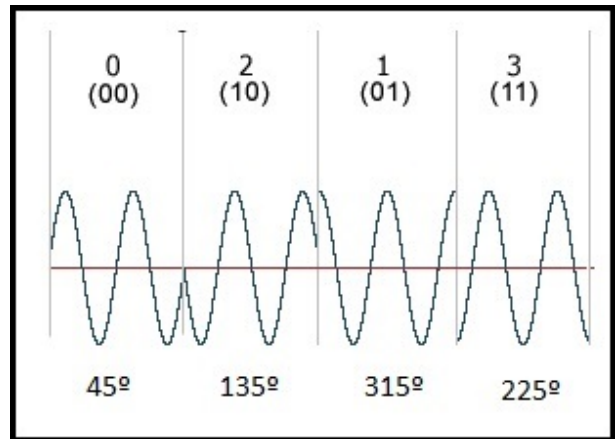


Figura 10: Modulação em PSK quaternário.

6) *Modulação PWM (Pulse-Width Modulation)*: A modulação por *PWM* utiliza uma portadora de pulsos, que tem sua

largura de pulso alterada conforme o sinal de entrada. A Figura 11 mostra o circuito básico utilizado na modulação *PWM*, onde o sinal modulador é comparado a uma onda dente de serra em um comparador de alto ganho [11]

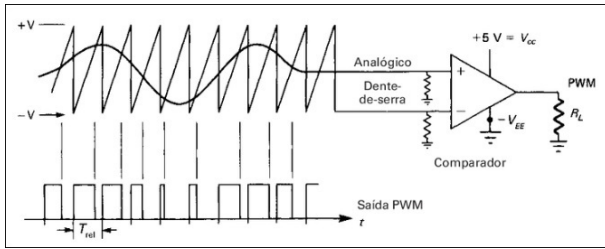


Figura 11: Modulação por *PWM* [11].

As modulações digitais apresentam variações dentro dos três princípios básicos de modulação (*ASK*, *FSK* e *PSK*). Exemplos dessas variações são: *GFSK* (*Gaussian Frequency Shift Keying*), *BPSK* (*Binary Phase Shift Keying*), *QPSK* (*Quadrature Phase Shift Keying*), *MSK* (*Minimum Shift Keying*), entre outros.

F. Mecanismo de acesso ao meio

Os mecanismos de acesso ao meio permitem que múltiplos usuários utilizem o mesmo canal de frequência. Esses mecanismos são muito importantes devido ao fato dos espectros de frequência serem limitados [3].

Muitas vezes, é necessária uma comunicação *full duplex* entre os dispositivos que estão se comunicando, ou seja, é necessário dois canais simplex para a comunicação. Essa divisão dos canais é chamada de *duplexação*, e pode ser feita de dois modos: *FDD* (*Frequency Division Duplexing*) que faz com que cada usuário tenha dois canais de frequência exclusivos para sua comunicação e o *TDD* (*Time Division Duplexing*), onde o usuário ocupa vários canais de frequência onde cada canal é dividido em *slots* de tempo. Cada usuário ocupa dois *slots* de tempo, sendo um para a comunicação direta e outro para a comunicação reversa.

Existem três principais mecanismos para o acesso ao meio em comunicações [3]. Estes são descritos a seguir.

1) *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*): O compartilhamento dos canais é feito através da divisão do espectro de frequências em vários canais distintos. Cada vez que um usuário solicita uma comunicação um canal é dedicado exclusivamente para o mesmo, ficando indisponível para outros usuários. A técnica de *duplexação* utilizada é o *FDD*, ou seja, cada comunicação ocupa dois canais simultaneamente.

2) *TDMA* (*Time Division Multiple Access*): Neste método os canais são divididos em *slots* de tempo, sendo que cada usuário ocupa um *slot* de tempo que se repete a cada ciclo. A técnica de *duplexação* pode ser através de *FDD* onde diferentes frequências ocupam o canal direto e as outras ocupam o canal reverso. Também pode ser utilizado a *duplexação* por *TDD* onde as mesmas frequências produzem os dois canais (direto e reverso), porém cada comunicação tem dois *slots* de tempo distintos, um para o canal direto e um para o reverso.

3) *CDMA* (*Code Division Multiple Access*): No *CDMA* o sinal de comunicação de banda estreita é multiplicado por um sinal de espalhamento de banda muito grande. Esse sinal de espalhamento é uma sequência de código pseudo ruído sendo que cada comunicação possui uma sequência única, assim todos os dispositivos utilizam a mesma frequência de portadora. O receptor capta o sinal e detecta apenas a correlação específica, para detectar apenas a mensagem correspondente [3].

G. Antenas

A antena é o dispositivo responsável por transmitir e captar os sinais de rádio. Durante a transmissão de dados a corrente de radiofrequência passa pela antena e é transformada em ondas eletromagnéticas, que se espalham pelo espaço. As ondas eletromagnéticas são captadas pela antena receptora e ocorre o processo inverso [8].

O funcionamento básico da antena ocorre da seguinte maneira: uma corrente de radiofrequência gerada pelo transmissor passa pela antena; essa corrente gera um campo eletromagnético que se espalha pelo espaço livre; então uma antena recebe esse campo eletromagnético, que por sua vez faz surgir uma corrente de radiofrequência no receptor; o sinal pode ser filtrado e reconstruído para formar a mensagem original.

As grandezas que envolvem as antenas, tais como a potência, o ganho e a corrente dependem do seu formato e de seu tamanho. A antena mais simples é o dipolo, que é uma linha de transmissão em aberto cujas extremidades formam um ângulo de 90° com a linha, como apresentado na Figura 12 [12].

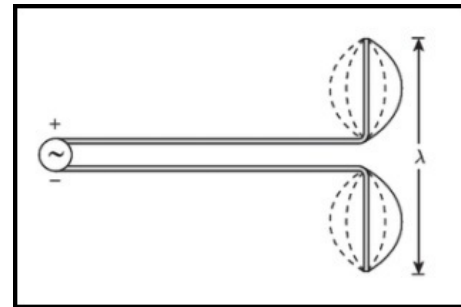


Figura 12: Antena no formato dipolo [12].

As antenas do tipo dipolo de meia onda são aquelas cujo comprimento λ mostrado na Figura 12 é igual a metade do comprimento da onda transmitida por esta antena.

O campo irradiado por uma antena não é o mesmo em todas as direções. Essa concentração da irradiação pode ser medida como ganho da antena, e é expresso em decibel (dB). Para antenas de meia onda esse ganho é de 2,15 dB e para antenas de dipolo curto é de 1,76 dB. Já as antenas parabólicas tem ganho acima de 30 dB [12].

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir são analisados as soluções existentes para comunicação entre o sistema de controle de trajetória e o VANT, os

avanços tecnológicos nessa área e a regulamentação nacional vigente.

A. VANTs

O mercado de VANTs tem crescido muito nos últimos anos. Os principais motivos do crescente uso de VANTs em todo o mundo são a utilização de quadrimotores ou drones, como são comumente conhecidos, a miniaturização de componentes eletrônicos e o baixo custo destas tecnologias??.

Os drones são mais fáceis de serem controlados por meio de rádiocontroles do que aviões, pois os comandos são mais simples e permitem a estabilização em uma posição no espaço. Eles também podem ser utilizados para diversão, devido a facilidade de controle e o baixo custo [13].

Em 2015, pela primeira vez o CES (*Internacional Consumer Electronics Show*) teve um mostruário sobre vários sistemas não tripulados. O mostruário contou com mais de uma dúzia de fabricantes de produtos para VANTs, em uma área de exposição que ocupou mais de 700 m^2 [13].

Os RPAs tem aplicação onde as distâncias a serem percorridas não são muito longas, por isso são largamente utilizados para fins recreativos e para fins de filmagens e fotografia. A dificuldade na precisão dos movimentos e interferências na comunicação fazem parte das limitações deste sistema.

VANTs autônomos utilizam algoritmos para controle da sua trajetória, sendo tecnologicamente mais sofisticados e mais caros. São utilizados principalmente para fins comerciais. Possuem problemas com atraso da informação de controle, que normalmente é feita através da rede de internet móvel. Outro meio utilizado para controles de VANTs autônomos é o uso da tecnologia GPS. De acordo com [13], sua trajetória pode ter rotas pré-programadas, sendo possível identificar onde o drone está no momento e até programar uma volta automática para o ponto de partida.

Uma das limitações do uso de VANTs autônomos é a baixa autonomia de voo devido à bateria, sendo necessário sua substituição em curtos espaços de tempo. Em [14], desenvolveu-se uma plataforma que permite que um drone pouse e sua bateria seja recarregada automaticamente. O carregador utiliza duas bobinas, uma na plataforma e uma no drone, além de uma sistema de posicionamento da bobina da plataforma, para melhor aproveitamento da recarga. Deste modo, é possível que o drone volte a sua tarefa após a total recarga da bateria, não havendo a necessidade de uma intervenção humana.

B. Radiofrequencia

A crescente evolução dos sistemas de radiocomunicação tem contribuído para um aumento do uso de VANTs. A comunicação simplex foi substituída pela comunicação duplex possibilitando que o piloto receba informações dos VANTs, como status da bateria, vídeo em tempo real, informação de controle, entre outros. A comunicação ponto a ponto também pode ser substituída pela comunicação por meio de sistemas de celular já existentes, como a comunicação 4G e o GPS [4]. Sistemas de modulação digital tem melhorado a qualidade e a confiabilidade das transmissões de radiofrequência.

Uma das grandes limitações da comunicação através de radiofrequência se dá pela limitação de banda do canal. As bandas de frequências mais utilizadas e que, conseqüentemente, possuem os equipamentos mais baratos, podem sofrer com problemas de ruído devido a fatores ambientais e a superlotação da banda.

O atraso da informação devido a propagação do controle por meio da tecnologia 4G é um limitador dessa tecnologia. Um VANT que tenha sua comunicação prejudicada pode causar acidentes, tanto para si próprio quanto para pessoas e objetos em seu caminho. Em [15] foram feitos testes e análises estatísticas dos atrasos de uma rede 3G e construído um sistema que utiliza redes neurais para compensar o controle da posição de um drone.

C. Segurança

Estudos em relação ao nível segurança e confiabilidade dos drones ainda estão em fase inicial. Em [16] é feita uma análise dos principais modelos de cálculo para níveis de segurança envolvendo drones no mundo, e um levantamento é feito para a aplicação desses modelos no âmbito nacional para drones de uso civil. A dificuldade em estabelecer métricas de segurança se deve ao fato da falta de dados de voos reais para estudo e avaliação.

Trabalhos desenvolvidos mostram a vulnerabilidade na segurança das comunicações dos VANTs. Em [17] é feita uma análise das vulnerabilidades presentes na comunicação de um VANT profissional. O mesmo sistema de comunicação é utilizado em VANTs de outros fabricantes. Uma das comunicações utiliza uma conexão wi-fi 802.11 com um tablet que apresenta o software com o plano de voo do VANT. A comunicação com o equipamento é feita por meio do circuito integrados XBee 868LP. As duas conexões apresentaram problemas de segurança e foram invadidas, permitindo acessar informações e controlar o VANT. Criptografias no envio dos dados são indicadas como forma de melhorar a segurança.

Algoritmos de criptografia estão em desenvolvimento. Um algoritmo de criptografia para o uso em VANTs militares, é proposto em [18]. Apesar dos algoritmos de criptografia existentes estarem de acordo com a legislação de [18] e terem alta eficiência, o crescente aumento no número de mensagens faz com que se busque algoritmos de maior desempenho.

D. Regulamentação no Brasil

No Brasil, um regulamento da ANAC para operação de VANTs entrou em vigor em 2017. Normas referentes a outras instituições, tais como a ANATEL, DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) e o Ministério da Defesa, além de legislações referentes, devem ser observadas.

A ANAC espera que a experiência obtida nos próximos anos possa contribuir para que os RPAs possam ser integrados ao sistema de aviação civil. As principais normas que abrangem o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) em [2] são:

1) *RPA (Remotely-Piloted Aircraft)*: Esse regulamento trata apenas de VANTs que são remotamente pilotados (*RPA*), pois os autônomos não tem autorização para ocupar o espaço aéreo.

2) *Área distante de terceiros*: A distância mínima entre o VANT e as pessoas no solo deve ser no mínimo de 30 m horizontais. Essa distância pode ser desconsiderada caso haja uma barreira física, que em caso de falha do VANT o acidente seja impedido.

3) *Classes de RPA*: Os VANTs que são remotamente tripulados(*RPA*) foram divididos em 3 classes:

- Classe 1: *RPA* com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- Classe 2: *RPA* com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;
- Classe 3: *RPA* com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg;

4) *Piloto*: Todos os pilotos de *RPA* devem ter mais de 18 anos. Para as classes de *RPA* 1 e 2 é necessário que o piloto tenha um Certificado Médico Aeronáutico (CMA). Além disso, para *RPA*s de classe 1 e 2 e *RPA*s que voem acima dos 400 pés é necessário uma licença e habilitação emitida ou validada pela ANAC.

5) *Documentos*: Todos os *RPA*s com massa acima de 250 gramas devem possuir os seguintes documentos para que possam entrar em funcionamento:

- Certidão de Cadastro, o Certificado de Matrícula ou o Certificado de Marca Experimental, conforme aplicável;
- Certificado de aeronavegabilidade válido, se aplicável;
- Manual de voo.
- Apólice de seguro ou o certificado de seguro com comprovante de pagamento, dentro da validade, se aplicável;
- Documento que contém a avaliação de risco a que se referem os parágrafos E94.103(f)(2) e E94.103(g)(2) do Regulamento;
- Licença, habilitação e extrato do CMA, válidos e se aplicáveis;

6) *RPA classe 3*: Todo *RPA* de classe 3 em que o piloto possa pilotar o mesmo sem o auxílio de nenhuma lente ou outro dispositivo, que opere até 400 pés e que não seja de um projeto autorizado pela ANAC, deve ser cadastrado pela ANAC. O *RPA* será vinculado a uma pessoa física ou jurídica, com CPF ou CNPJ brasileiro, que ficará responsável pelo *RPA*. *RPA*s fora dessas condições tem seus requisitos especificados no Regulamento.

IV. DEFINIÇÃO DO PROJETO

Este trabalho tem o objetivo de projetar, montar e testar um rádiocontrole e um receptor para VANTs, a seguir são definidos seus parâmetros e o seu funcionamento.

O controle possui 7 entradas analógicas e 12 digitais para controlar os 12 canais de saída diretos (sinais que irão do controle para o receptor). Os canais diretos serão saídas *PWM* do receptor com resolução de 10 bits cada. O controle tem três canais reversos, que serão duas entradas digitais e uma entrada analógica presentes no receptor que serão enviadas para o

controle, permitindo que seja possível enviar sinais de alerta para o piloto. Para o ajuste da posição de repouso dos *joysticks* serão utilizados 2 botões para cada direção totalizando 8 botões.

Todas as entradas de controle podem ser configuradas pelo usuário, ou seja, é possível configurar qual entrada controla qual canal do receptor, ou quais entradas combinadas modificam o estado de um ou mais canais do receptor. É possível configurar a inversão de sentido, ou seja, inclinando o *joystick* para cima o canal *n* aumenta ou diminui o ciclo do *PWM*. É possível programar que um botão digital de um *offset* no nível do *PWM* dos canais. Ajustes de zero são feitos através de botões para todas as direções dos *joysticks*. São possíveis ajustes de *offset* permanentes em todos os canais.

Toda a configuração é feita através do próprio controle que possui um tela gráfica e 4 botões para facilitar a programação. É possível salvar até 10 programações diferentes um cartão de memória.

Durante a utilização do controle o tela gráfica apresenta o nível das quatro entradas analógicas principais do controle (duas direções de dois *joysticks*), o nível da bateria, os níveis lógicos dos canais reversos, o nível do sinal com o receptor e qual das configurações está sendo utilizado no momento. A distância máxima entre o controle e o receptor é projetada para ser de 1 km e utiliza a frequência de 2,4 GHz para transmissão dos sinais. O controle é alimentado através de uma bateria e o receptor não terá alimentação própria.

A seguir são definidos alguns dos componentes que são utilizados para a configuração do rádiocontrole e do receptor.

A. Microcontroladores

O microcontrolador utilizado no rádiocontrole é o Atmega 2560 da Atmel, devido a grande quantidade de pinos disponíveis e a facilidade de aquisição. Apresenta um *clock* de até 16 MHz, 54 saídas/entradas digitais e 16 entradas analógicas, *interface SPI (Serial Peripheral Interface)* e 4 comunicações seriais [19]. O encapsulamento desse microcontrolador é o TQFP-100. Para o receptor é utilizado o Atmega 168PA, pois o receptor necessita apresentar um tamanho reduzido, não sendo necessário muitos pinos na sua interface. Possui *clock* de até 16 MHz, 23 entradas/saídas digitais e até 8 entradas analógicas, *interface SPI* e 1 comunicação serial [20]. O encapsulamento será o TQFP-32. A programação dos microcontroladores será realizada através de comunicação serial. A tensão de alimentação dos dois microcontroladores é de 5V.

B. Entradas do controle

O controle possui dois *joysticks* para controle dos canais, cada um com duas direções analógicas em cada *joystick*, como é possível ver na Figura 13-a . Além dos *joysticks*, o controle tem 4 chaves do tipo alavanca, 3 potenciômetros e botões como é possível ver na Figura 13-b e 13-c respectivamente. As entradas digitais serão ligadas a terra e o *pull-up* será feito através dos microcontroladores.

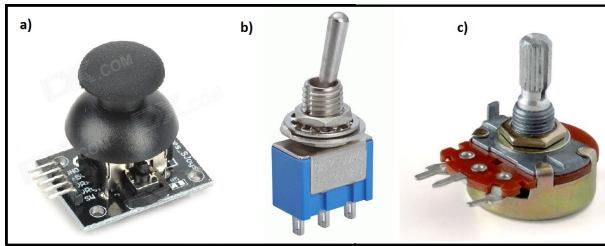


Figura 13: Entradas podem ser do tipo a) joystick b) chave alavanca c) potenciômetro.

C. Canais de comunicação

O receptor possui 12 canais *PWM* de saída, com 10 bits de resolução, atualizados em uma frequência de no mínimo 20 Hz. As saídas são pinos, como mostra a Figura 14, sendo que os canais 1 a 4 possuem uma fonte regulável comum entre os mesmos, com corrente máxima de 2A, assim como os canais 4 a 8. A fonte regulável é construída a partir do circuito integrado LM2596. Já os canais 9 a 12 tem entrada de tensão separada da alimentação principal e não tem regulador de tensão.

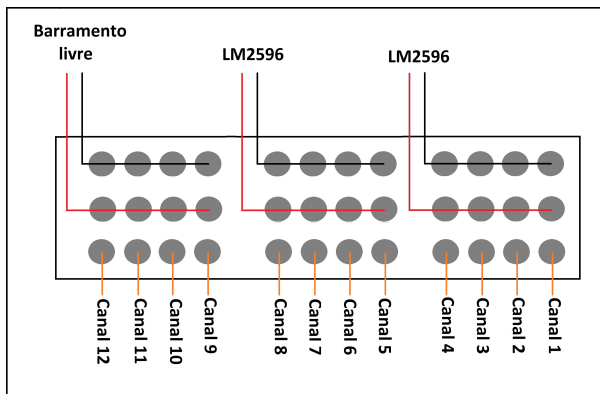


Figura 14: Saída dos canais de comunicação.

Como o microcontrolador do receptor possui somente 6 saídas *PWM* optou-se por utilizar o circuito integrado TLC5940, que possui 12 saídas *PWM*, alimentação de 5 V e se comunica através de comunicação SPI com o microcontrolador. Esse componente tem formato SMD (*Surface Mounting Device*) para reduzir o tamanho do receptor. A escolha por um circuito externo ao microcontrolador ocorreu com o intuito de não sobrecarregar o mesmo com a programação de saídas *PWM* via *software*.

D. Display

Para que seja possível programar os canais de acordo com a necessidade de cada aplicação, uma tela gráfica de 128x64 pontos mostra as configurações necessárias. O tela utiliza o microcontrolador interno ST7920, tensão de alimentação de 5 V e *backlight* na cor azul. A conexão entre a tela e o microcontrolador é realizado através da conexão em paralelo.

E. Reguladores de tensão

Para alimentação das antenas NRF24L01 será utilizada o regulador LM117 com saída de 3,3V, para os demais componentes será utilizado o regulador LM1117 com saída de 5V. Os reguladores são do tipo abaixador de tensão com entrada de até 15 V, corrente de saída de 800 mA e encapsulamento SOT-4.

F. Cartão SD

Para salvar as programações do usuário será utilizado um módulo para cartão SD conforme mostrado na Figura 15. O módulo se comunica através de barramento SPI, possui alimentação de 5V e suporte para cartão micro SD e micro SDHC. O cartão SD utilizado terá capacidade de 1 GB.

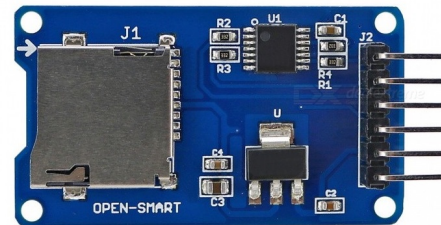


Figura 15: Módulo SD.

G. Comunicação

A comunicação entre o controle é realizado através de dois transmissores NRF24L01. O controle possui um transmissor com um amplificador para uso de uma antena externa. O receptor pode funcionar tanto com um transmissor com antena embarcada ou com a antena externa. Esses transmissores apresentam alimentação de 3,3 V, baixo consumo (12,3 mA na máxima potência), baixo custo e um bom alcance (até 1Km). Eles utilizam a frequência de 2,4 GHz para a transmissão, modulação GFSK e permitem a seleção de 125 canais diferentes.

A comunicação entre o transmissor e o microcontrolador é feito através de um barramento SPI. Ao inicializar os transmissores um canal de comunicação é aberto entre eles. Um código de 5 bytes é utilizado para garantir a abertura do canal. Os transmissores podem transmitir em velocidades de 250 kbps, 1 Mbs e 2 Mbps. Para melhorar o alcance entre os transmissores, os mesmos foram configurados para transmitir em uma velocidade de 250 kbps. Também foi configurado um tamanho de mensagem de 28 bytes, CRC 16, confirmação de recebimento e reenvio de mensagens. O bits de início e fim de mensagem, controle de erros CRC 16, confirmação de mensagem, reenvio de mensagem e *timeout* da comunicação é controlado pelos transmissores.

O fluxograma da comunicação controlada pelo microcontrolador do controle é mostrado na Figura 16 e o fluxograma da comunicação do receptor é mostrado na Figura 17, sendo detalhadas a seguir.

O transmissor do controle em modo de transmissão, envia os valores dos doze canais e um número de ordenação de mensagem para o receptor. Após enviar a mensagem o transmissor

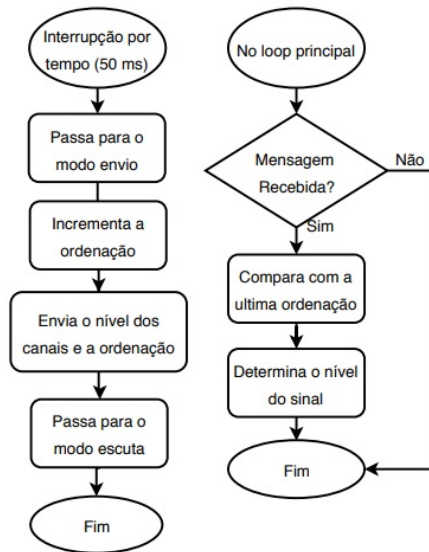


Figura 16: Comunicação controle.

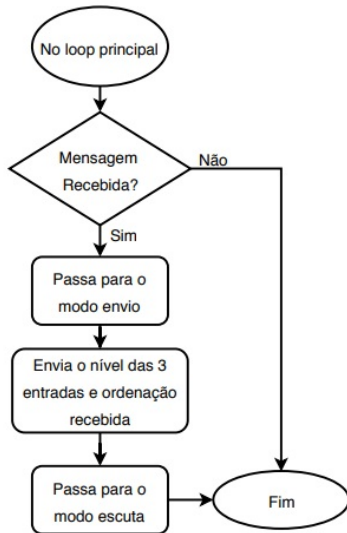


Figura 17: Comunicação receptor.

retorna para o modo de escuta até a próxima interrupção de tempo, que ocorre a cada 50ms. O transmissor do receptor que inicia em modo de escuta ao receber a mensagem do controle passa para o modo de transmissão e envia o número de ordenação recebida e os valores das duas entradas digitais e da entrada analógica. Após o envio retorna para o modo de escuta. O controle recebe o número da ordenação e detecta se houve alguma mensagem perdida. Dependendo do número de mensagens perdidas o controle informa ao usuário a perda do sinal com o receptor através de uma escala graduada apresentada na tela.

H. Montagem dos circuitos

A ligação entre os componentes tanto do controle quanto do receptor é feita através de placas de circuito impresso de

duas faces que são projetadas através do *software* Diptrace. Os resistores terão encapsulamento 1208 e os capacitores menores que 1 uF terão encapsulamento 0805. As figuras 18, 19 e 20 mostram as placas projetadas.

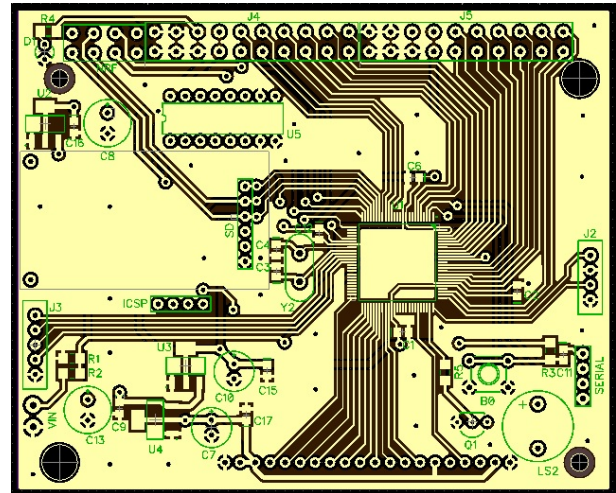


Figura 18: Placa do controle face superior.

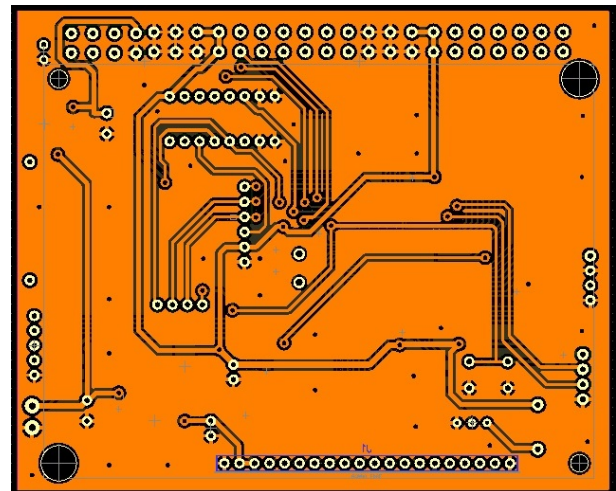


Figura 19: Placa do controle face inferior.

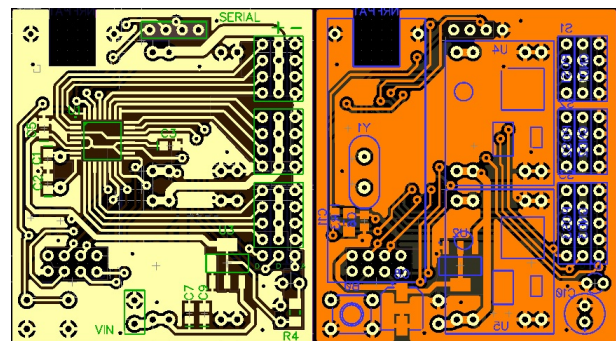


Figura 20: Placas Receptor.

Caixas em madeira em 3 mm de espessura são utilizadas para acomodação das placas e dos demais componentes.

O projeto foi feito através do *software* Solid Works como mostrados nas figuras 21 e 22.

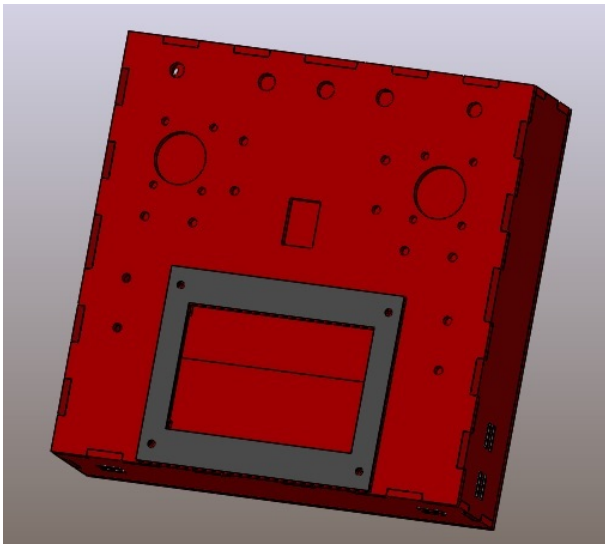


Figura 21: Caixa controle.

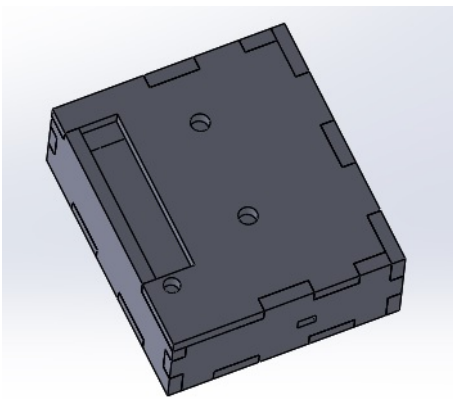


Figura 22: Caixa Receptor.

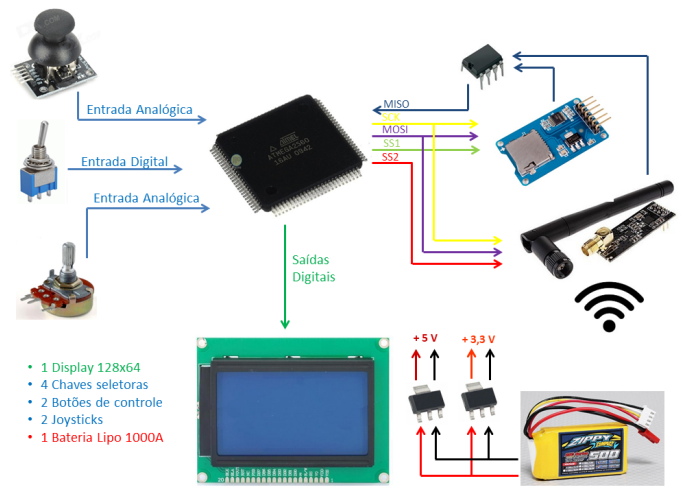


Figura 23: Diagrama de blocos do controle.

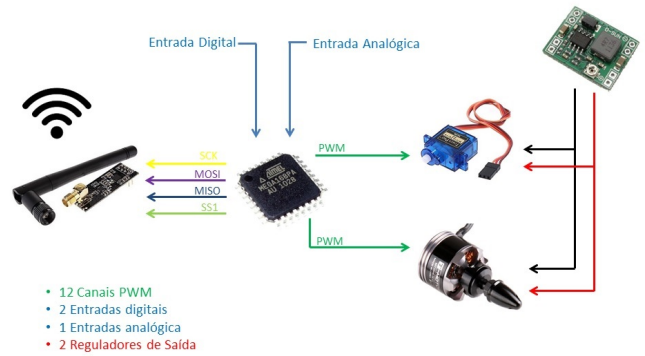


Figura 24: Diagrama de blocos do receptor.

V. RESULTADOS

A. Telas do controle

O controle possui quatro telas principais. A tela de voo é utilizada durante o voo do VANTS. A Figura 25 mostra a tela de voo. Ela mostra ao usuário as seguintes informações:



Figura 25: Menu voo.

- posição dos joysticks;
- entradas digitais do receptor;

I. Baterias

O controle tem uma alimentação proveniente de uma bateria de polímero (Li-Po) de 1000mA de 11,1V. O receptor não tem alimentação própria.

J. Arquitetura geral

Para o controle, o microcontrolador Atmega2560 controla todos os componentes eletrônicos, sendo que os *joysticks* e os potenciômetros são ligados as entradas analógicas, as chaves alavancas e os botões nas entradas digitais e a tela gráfica as saídas digitais do microcontrolador. O módulo do cartão SD e o transmissor NRF24L01 estão ligados ao barramento SPI do microcontrolador. Uma bateria do tipo Li-po de 11,1V e 1000 mAh seguida de reguladores de tensão fornece tensões de 5 e 3,3 V para os componentes. A Figura 23 mostra o diagrama de blocos simplificado do controle.

Na Figura 24 é possível diagrama do receptor.

- entrada analógica do receptor;
- nível da bateria;
- situação do mix geral;
- nível da conexão entre o controle e o receptor;

A tela de saída mostra o nível atual dos doze canais, o nível da bateria, o mix selecionado e o nível da conexão entre o controle e o receptor conforme mostra a Figura 26.

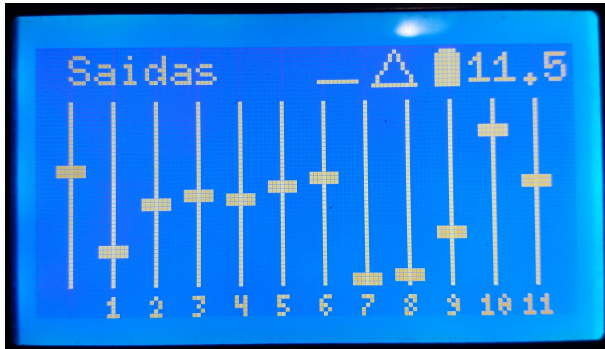


Figura 26: Menu saídas.

A tela de programação é utilizada para o usuário programar individualmente cada canal, conforme mostra a Figura 27.

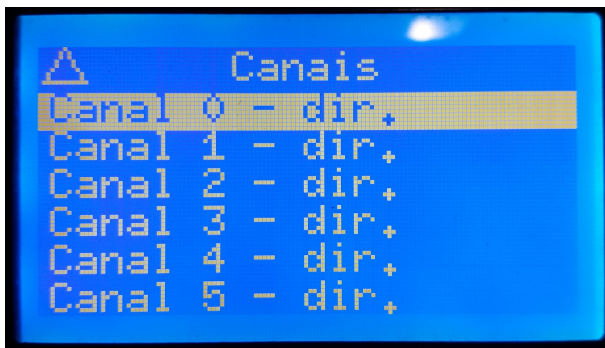


Figura 27: Menu programação.

A tela de "Save" é utilizada para salvar, copiar ou carregar as programações do controle. A tela de Save é apresentada na Figura 28.

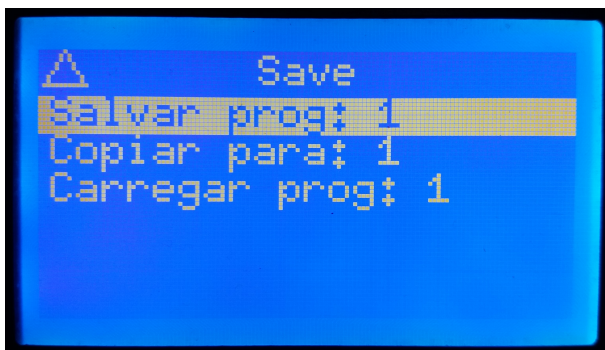


Figura 28: Menu save.

B. Programações dos canais

Os canais PWM de saída do receptor podem assumir um valor de 0 a 1023, 0 representando o *duty cycle* mínimo e 1023 o *duty cycle* máximo. Cada entrada analógica representa uma das entradas dos dois *joysticks* ou dos 3 potenciômetros. Cada entrada digital é ativada pelos dois botões dos *joysticks* ou pelas chaves alavancas de 2 posições ou de 3 posições.

O *offset* baixo do canal representa o mínimo valor que um canal pode assumir entre 0 e 1023, já o *offset* alto o maior valor que o canal pode assumir. Configurando um *offset* baixo de 300 e um *offset* alto de 900, fará com que o canal configurado assumira somente valores entre 300 e 900.

A inversão do canal é uma propriedade que inverte o sentido do comando de uma entrada analógica. Por exemplo, ao girar o potenciômetro no sentido horário o canal aumenta o *duty cycle*, ativando a inversão, ao girar o potenciômetro no modo horário o canal diminuirá o *duty cycle*.

Cada canal pode ser programado individualmente, assumindo qualquer uma das programações demonstradas a seguir.

1) *Modo direto*: Neste modo o canal é controlado por uma das 7 entradas analógicas, é possível programar um *offset* baixo, um *offset* alto e a inversão do canal.

2) *Modo digital*: Neste modo o canal é controlado por uma das 4 entradas digitais de duas posições ou das 2 entradas digitais de 3 posições. É possível escolher o valor exato do canal pra cada posições da entrada digital.

3) *Modo mix*: Neste modo o canal é controlado por duas entradas analógicas simultaneamente. A equação 2 demonstra a construção da saída do canal. É possível configurar qual a proporção (P1 ou P2) que cada entrada analógica altera a saída do canal. Também é possível configurar um *offset* baixo, um alto e a inversão de uma das entradas analógicas.

$$Canal = P1 * canal1 \pm P2 * Canal2 \quad (2)$$

4) *Modo duplo e Modo mix duplo*: Nestes modos é possível configurar todas as propriedades dos modos direto e mix. Também é possível utilizar uma das entradas digitais para dar um *offset* geral no canal, assim ao mudar a posição de uma das entradas digitais soma-se ou diminui-se um valor configurado a saída do canal, levando em consideração o valor atual do mesmo, que é determinado pelas entradas analógicas.

5) *Mix geral*: O mix geral é uma configuração que permite que cada canal possua duas programações paralelas. A troca entre as mesmas será feita através de uma chave alavanca de duas posições. Essa configuração é utilizada principalmente para alterar o controle dos motores em diferentes velocidades, assim é possível obter uma maior ângulo de controle em velocidades baixas (para facilitar as manobras) e um menor ângulo de controle em velocidades altas (para evitar mudanças abruptas na direção).

C. Testes de alcance

O procedimento para realizar o teste de alcance foi o seguinte: Media-se a quantidade de mensagens enviados pelo

controle e retornadas pelo receptor em distâncias fixas, durante um minuto em campo aberto. Aumentava-se a distância em 100 metros a cada teste, até que as mensagens não foram mais recebidas. Testou-se tanto o receptor com transmissor com antena embarcada quanto com antena externa. Os resultados são apresentados na Figura 29.

Distância	Antena embarcada	Antena externa
	Msg/min	Msg/min
100	1195	1189
200	1178	1193
300	1079	1170
400	1140	1172
500	807	1186
600	579	1080
700	130	852
800	0	739
900	0	620
1000	0	373
1100	0	0

Figura 29: Teste de alcance.

Com a antena externa foi possível alcançar a distância esperada pelo projeto, porém há uma grande perda de mensagens nessa distância. Uma distância menor deve ser utilizada para garantir a segurança do VANT que esta sendo controlado.

D. O protótipo final

Os protótipo do controle é mostrado na Figura 30. O controle com medidas de 170x170x50 mm poderia ter sua largura (de 50mm) reduzida para facilitar o manuseio dos *joysticks*. Para isso seria necessário diminuir a altura dos capacitores do circuito e posicionar a bateria em uma das laterais do controle e não atrás da placa PCB.

A Figura 31 mostra dois receptores, um com antena externa e outro com antena embarcada. O receptor com medidas de 58x51x21 mm ficou maior que os modelos comerciais, devido ao elevado número de canais e dos reguladores de tensão para os motores, porém ficou com um tamanho aceitável.

As placas de circuito impresso montadas podem ser vistas nas figuras 32(controle) e 33(receptor).

E. Teste práticos

Os testes práticos foram realizados em um protótipo de veículo mostrado na Figura 34. O controle demonstrou uma boa flexibilidade na programação através da tela gráfica. O número elevado de canais permitiu o controle de vários servo motores, controlar a direção e parada do veículo, além de funções como iluminação e buzina, não havendo a necessidade de um controlador a bordo do veículo.

F. Melhorias

No controle os *joysticks* apresentam um baixo ângulo de rotação, ou seja, movendo-se 40° de inclinação se alcança o máximo e o mínimo valores possíveis. Isso dificulta executar manobras mais precisas. Joysticks com maior ângulo de



Figura 30: Protótipo Controle.

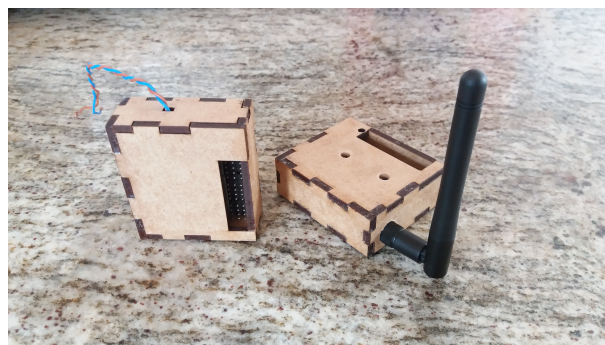


Figura 31: Protótipo Receptores.

rotação foram comprados mais não chegaram em tempo para implementar no projeto.

Para reduzir os custos do projeto propõe-se retirar o módulo de cartão SD e salvar as programações na própria memória EEPROM do microcontrolador. Isto também retiraria o multiplexador do projeto, mas limitaria a quantidade de programações possíveis em dez, diferentemente do cartão SD que pode salvar um número muito maior, se necessário. Outra fator que reduziria custos e facilitaria a montagem do controle e a retirada dos botões de ajuste de zero dos *joysticks*, e colocar o ajuste na tela. O microcontrolador utilizado no controle atendeu as necessidades do projeto, porém o aumento de funções podem comprometer o desempenho da comunicação. Recomenda-se trocar o microcontrolador Atmega2560 por um STM32F030, que possui um melhor desempenho e um menor custo.

Sugere-se colocar legenda em todos os pinos de saída da placa, para facilitar a montagem da placa PCB. Também sugere-se adicionar mais duas chaves alavancas no protótipo

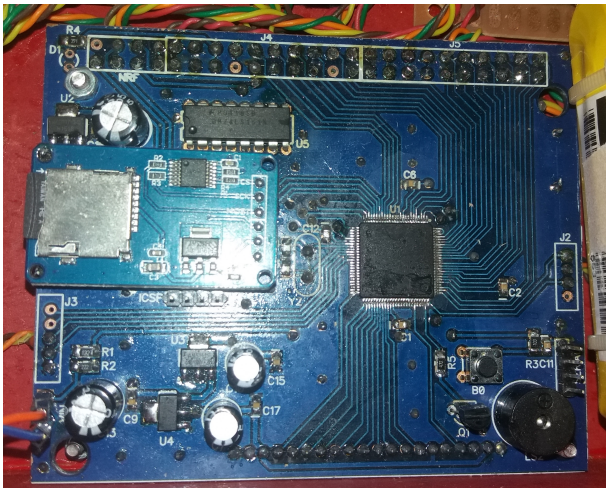


Figura 32: Placa controle.

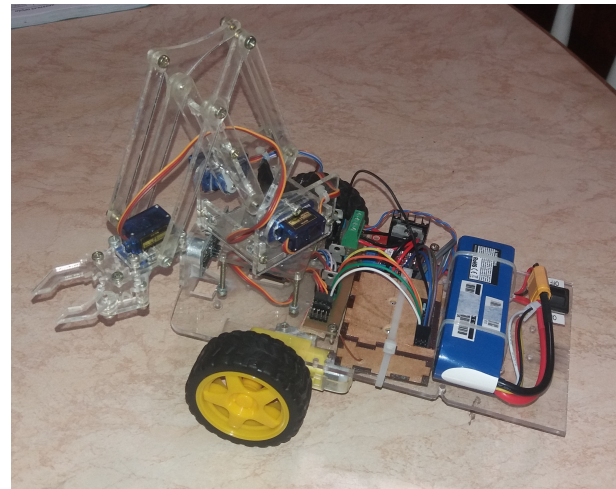


Figura 34: Protótipo de testes.



Figura 33: Placa receptor.

para permitir mais opções de controle dos canais, já que o controle apresenta um elevado número de canais.

Para um criar um modelo alternativo do receptor com tamanho reduzido, recomenda-se retirar os reguladores de tensão para os motores, deixando apenas os sinais dos canais.

O controle ainda apresenta alguns erros na tela gráfica, onde algumas vezes os menus não são escritos corretamente. Deve-se analisar mais atentamente a lógica de programação para corrigir este problema. Os modos de condição e modo geral apresentam alguns erros de lógica que ainda não foram corrigidos. Novos modos de programação, como os modos utilizados para freios ABS (*Anti-lock Braking System*), também pode ser implementados.

G. Dificuldades encontradas

Uma das principais preocupações iniciais do projeto era o alcance entre o controle e o receptor. Pesquisando sobre os transmissores utilizados foram apontadas algumas ações para aumentar o alcance dos transmissores. O primeiro era reduzir a velocidade de transmissão para 250Kbps, o que pode ser feito configurando o transmissor na sua inicialização. Colocar um capacitor de valor elevado (maior que 100uF) próximo a alimentação do transmissor, fazendo com que haja uma diminuição do *ripple* da alimentação. Outra possível melhoria seria colocar as dois receptores com antenas externas, deste modo

o receptor foi projetado para que possam ser utilizados tanto o módulo com antena embarcada, quando o transmissor com antena externa. Colocando as ações em prática foi possível aumentar significativamente o alcance entre os transmissores.

Ao testar a comunicação entre os transmissores verificou-se que nas velocidades de 2Mbps e 1Mbps eles funcionavam perfeitamente a uma curta distância. Ao reduzir a velocidade para 250Kbps os transmissores paravam de se comunicar. Detectou-se que ao baixar a velocidade de 1Mbps para 250Kbps, o tempo que o transmissor demorava para passar do modo escuta para o modo envio aumentava significativamente, assim o controle enviava uma mensagem e passava para o modo escuta, porém esse tempo para trocar entre os dois modo era maior que o tempo que o receptor demorava para receber a mensagem e enviar a resposta. Deste modo, o controle não recebia a resposta, pois ainda não tinha passado para o modo de escuta. Para resolver este problema adicionou-se um pequeno atraso de 5ms no envio da resposta do receptor, assim o controle tem tempo de passar para o modo escuta antes de receber a mensagem. Esse atraso na resposta não comprometeu o intervalo entre as mensagens, que tinha sido projetada para acontecer a cada 50ms.

Como o microcontrolador Atmega168PA utilizado no receptor não possuía 12 canais *PWM*, optou-se por utilizar o circuito integrado TLC5940, que possuía 12 canais *PWM* de saída e uma comunicação via SPI com o microcontrolador. Entretanto o TLC5940 ocupava um grande espaço na placa de circuito impresso do receptor. Optou-se então por implementar os 6 canais *PWM* que faltavam via software, tanto para diminuir os custos, quanto para diminuir o tamanho do receptor.

Um dos grandes desafios encontrados foi a programação da tela gráfica. A biblioteca utilizada para o controle do mesmo, utiliza um ponteiro de carácter para escrita na tela, que dificultava a utilização de laços de iteração para escrita dos menus, já que não se tinha um tamanho fixo para os menus. A conversão de uma variável inteira para carácter e posterior união com outra variável de caracteres não foi possível devido

ao alto tempo de processamento exigido. Combinar os níveis do menu para relacionar qual variável deveria ser alterada para a programação dos canais exigiu uma complicada lógica do *firmware*. A árvore de menus podem ser vista através da Figura 35.

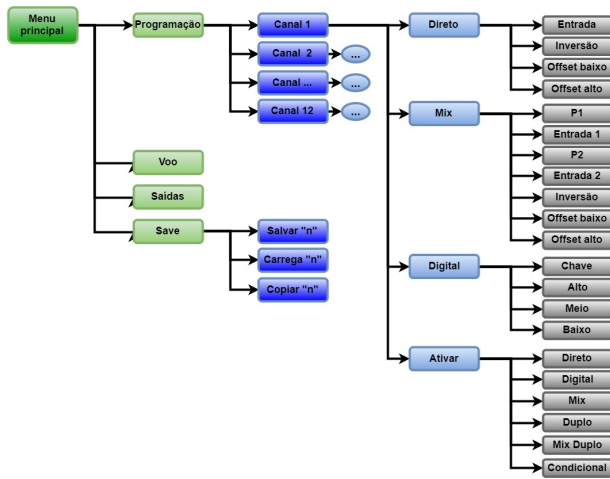


Figura 35: Menu save.

Na tela gráfica não era possível escrever somente um bit ou um conjunto de bits na memória da mesma, devido a limitações de *hardware*. A cada mudança na tela, todas as informações devem ser passadas para a memória da tela, o que exigiu um grande consumo de processamento. Mudou-se a comunicação entre a tela e o microcontrolador de serial para paralelo e aumentou-se a taxa de comunicação entre eles, diminuindo o tempo de processamento.

Ao colocar o transmissor NRF24L01 e o módulo SD no barramento SPI, ocorreu um conflito no pino MISO. Percebeu-se que o módulo SD mantinha o pino MISO em sinal alto independentemente de estar com o pino de seleção de escravo ativo ou não. Porém o transmissor NRF24L01 utilizava seu sinal normalmente em nível lógico baixo e comunicava-se com pulsos de sinal alto. Com o módulo SD com o pino MISO sempre em sinal lógico alto não era possível realizar a comunicação do NRF24L01. Verificou-se também que a taxa de comunicação do transmissor é de 10 MHz e a do cartão SD é de 250 kHz. Para solucionar esses conflitos dos sinais lógicos inversos utilizou-se um multiplexador 74HC151, com a saída ligada ao pino MISO do microcontrolador e as entradas ligadas nos pinos MISOs do transmissor e do módulo SD, sendo assim é possível selecionar qual dos dois componentes é ligado ao pino MISO do microcontrolador. Quando se deseja utilizar o cartão SD muda-se a seleção do multiplexador e altera-se a velocidade de comunicação do barramento. Terminado a comunicação com o cartão a velocidade é alterada novamente e o multiplexador volta a transmitir o sinal do transmissor. Essas adaptações impossibilitam salvar um programa enquanto o VANT está voando, pois o tempo para trocar a velocidade do barramento SPI e salvar os arquivos é elevada (maior que 50 ms).

VI. CONCLUSÕES

Por meio do estudo apresentado mostrou-se a crescente evolução no mercado e nos avanços tecnológicos no setor de VANTs. As evoluções tecnológicas, o baixo preço dos dispositivos e a utilização de multimotores impulsionaram essas evoluções. Limitações de uma maior expansão do setor incluem legislações em fase de desenvolvimento, baixo tempo de autonomia das baterias e superlotação da banda passante.

Sistemas de segurança estão em desenvolvimento e ainda comprometem a comunicação de VANTs. Apesar disso, o desenvolvimento de sistemas para VANTs proporciona grandes benefícios nas áreas de recreação, comercial e militar.

O radiocontrol e o receptor desenvolvidos atenderam as especificações projetadas, contando com 12 canais *PWM* do controle para o receptor e 3 canais de informações do receptor para o controle. Foi possível programar individualmente cada um dos canais através da tela gráfica, através de diferentes modos de programação, tornando o controle flexível. É possível salvar até 10 programações diferentes no cartão SD. O alcance máximo entre controle e receptor foi de 1 km, porém nesta distância somente 30 % das mensagens foram recebidas. Para uma distância de 700 metros essa porcentagem passa a ser 70 %.

Para futuros desenvolvimentos pretende-se trocar os *joysticks* utilizados por *joysticks* com um maior ângulo de rotação, para aumentar a precisão que o usuário tem sobre os mesmos. Aconselha-se trocar os microcontroladores do controle e do receptor por um microcontrolador STM32F030, que possui um melhor desempenho e um menor custo. Mudar o local do armazenamento das programações para a memória EEPROM do microcontrolador, possibilitando assim a retirada do cartão SD, visando redução dos custos e uma maior confiabilidade da comunicação com o transmissor que utilizada o mesmo barramento SPI do cartão SD. Também serão adicionadas legendas nas saídas da placa de circuito impresso para facilitar a montagem do controle, criação de um modelo alternativo de receptor com um tamanho reduzido e a correção de alguns erros de *firmware*.

REFERÊNCIAS

- [1] J. M. P. Pecharromás. (2017, Maio) Estudo sobre a indústria brasileira e europeia de veículos aéreos não tripulados. [Online]. Available: <http://www.mdic.gov.br/noticias/2274-sdci-publica-estudo-sobre-veiculos-aereos-nao-tripulados>
- [2] "Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil." [Online]. Available: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>
- [3] T. S. Rappaport, *Comunicações sem fio: princípios e práticas*, 2nd ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [4] P. Hell, M. Mezei, and P. J. Varga, "Drone communications analysis," in *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), 2017 IEEE 15th International Symposium on*. IEEE, 2017, pp. 000 213–000 216.
- [5] (2018, Junho) Flysky fs-i6-m2 2.4ghz 6-channel transmitter. [Online]. Available: <http://www.flyskyr.com/>
- [6] (2018, Junho) Flysky ir10 - 2.4ghz 10 channel receiver. [Online]. Available: <http://www.flyskyr.com/>
- [7] V. S. Neto, *Telecomunicações: Sistemas de modulação: uma visão sistêmica*, 3rd ed. São Paulo: Érica, 2012.
- [8] J. C. de O. Medeiros, *Princípios de telecomunicações*, 5th ed. São Paulo: Érica, 2016.

- [9] “Regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita.” [Online]. Available: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/23-2008/104-resolucao-506>
- [10] M. P. Ribeiro, *Redes de Telecomunicação e Teleinformática*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.
- [11] P. H. Young, *Técnicas de comunicação em eletrônica*, 5th ed. São Paulo: Pearson, 2006.
- [12] C. Q.-L. Carolos Quevedo, *Ondas eletromagnéticas: eletromagnetismo, aterramento, guias, radar, ionosfera*, 1st ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [13] B. Markwalter, “Flights of fancy: Products in the unmanned systems marketplace.” *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 4, no. 2, pp. 46–48, 2015.
- [14] C. H. Choi, H. J. Jang, S. G. Lim, H. C. Lim, S. H. Cho, and I. Gaponov, “Automatic wireless drone charging station creating essential environment for continuous drone operation,” in *Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), 2016 International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 132–136.
- [15] L. Zhu, D. Yin, J. Yang, and L. Shen, “Research of remote measurement and control technology of uav based on mobile communication networks,” in *Information and Automation, 2015 IEEE International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 2517–2522.
- [16] C. P. d. Oliveira, “Análise dos modelos para cálculo de níveis de segurança relacionados à operação de veículos aéreos não tripulados.” Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, 2009.
- [17] N. M. Rodday, R. d. O. Schmidt, and A. Pras, “Exploring security vulnerabilities of unmanned aerial vehicles,” in *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2016 IEEE/IFIP*. IEEE, 2016, pp. 993–994.
- [18] V. Y. Kovtun, M. Kovtun, and A. Okhrimenko, “Commands integrity and authority in control radio link of uav,” in *Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), 2015 IEEE International Conference*. IEEE, 2015, pp. 178–181.
- [19] (2017, Março) Atmega640/1280/1281/2560/2561 complete. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/pt/br/devices/ATMEGA2560.aspx>
- [20] (2017, Março) Atmega48pa/88pa/168pa/328p. [Online]. Available: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Atmega168pa>