



FACULDADE DE TECNOLOGIA, CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO

Graduação

GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Hardware/Software co-design para controle de aeronave de inspeção aérea não-tripulada

Arlex Donizetti Barreto da Silva Junior
Giuliano Lacerda Dall'Armellina

RESUMO

Drones são aeronaves que não possuem tripulantes e têm sido utilizadas para as mais diversas aplicações desde sua popularização. Estas aeronaves estão disponíveis em diferentes modelos desde os mais simples até os mais robustos com câmeras e outros sensores. Independente de qual modelo é comprado o controle do drone é complexo e demanda uma quantidade considerável de horas de treino. Com base nesta dificuldade a proposta deste projeto de pesquisa é o desenvolvimento de uma interface de hardware/software para controle do drone que torne a tarefa de controlar a aeronave mais simples e mais segura. A ideia principal é utilizar eletrônica de baixo custo controlada por um Arduino. A análise do circuito possibilitou a proposta do projeto eletrônico baseada nos tempos de resposta dos componentes e no controle de um drone específico adquirido para o projeto.

Palavras-chave: Drones. Arduino. Co-projeto de Hardware/Software

ABSTRACT

Drones are unmanned aircrafts that have been used for the most diverse applications since their popularization. These aircraft are available in different models from the simplest to the most robust with cameras and other sensors. Regardless of which model is purchased the drone control is complex and demands a considerable amount of training hours. Based on this difficulty the proposal of this research project is the development of a hardware / software

interface for drone control that makes the task of controlling the aircraft simpler and safer. The main idea is to use low cost electronics controlled by an Arduino. The analysis of the circuit made possible the proposal of the electronic project based on the response times of the components and the control of a specific drone acquired for the project.

Keywords: Drones. Arduino. Hardware/Software Co-Design

Introdução

Devido a crescente utilização de aeronaves não-tripuladas no mercado atual, não só com o uso profissional, mas também com o uso amador, este artigo abrange a integração de hardware e software de aeronaves de inspeção, visando prover condições técnicas de integração de sistemas para que as informações coletadas através do uso dos equipamentos possam ser tratadas através de ferramentas computadorizadas. Tais equipamentos são considerados veículos aéreos não tripulados (VANTs), os quais tornam-se essenciais para operações aéreas que demandam altos custos e/ou riscos para sua execução.

Os VANTs – Veículos Aéreos Não-Tripulados tiveram um aumento notável do interesse da população de um modo geral nos últimos anos. Inicialmente surgiu de necessidades militares visando a execução de missões aéreas que ofereciam risco à vida humana. A palavra drone, tem origem na língua inglesa, e significa “zangão” ou “zumbido”. Assim, os atuais drones são assim chamados devido a uma referência ao som emitido durante seu funcionamento. Com o avanço tecnológico nos setores de processamento de dados e miniaturização de componentes eletrônicos ocorridos nas últimas duas décadas, diversas aplicações militares de VANTs foram desenvolvidas ao redor do mundo, havendo constante crescimento do número de projetos (ARMADA, 2004).

Desenvolvido com base em modelos aéreos tripulados, há vários modelos de drones que possuem características específicas para determinadas atividades. O modelo mais utilizado é o drone VTOL (Vertical Take-Off and Landing) – decolagem e aterrissagem vertical possuindo quatro ou mais asas rotativas (figura 1). Segundo GUIMARÃES (2012), os drones “possuem uma alta

manobrabilidade quando comparado às aeronaves de asas fixas, além de possuírem a capacidade de pairar”.

Abaixo encontra-se um modelo de drone de baixo custo, similar ao utilizado no projeto piloto deste trabalho.



Figura 1: Drone quadricóptero de baixo custo, Syma X5c

Com o progresso tecnológico observado na aviação, a utilização dos drones em diversas aplicações é uma realidade atual. Esta tecnologia conta com a integração de sistemas eletrônicos embarcados que permitem realizar a estabilização de movimentos em voo. Os modelos mais sofisticados, além de possuírem sistemas de controle mais precisos, contam com ferramentas de estabilização como: barômetro, sensores de proximidade e localizador GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global).

Sistemas embarcados são tecnologias que possuem unidades de processamento. Alguns exemplos de objetos que possuem sistemas embarcados existentes no mercado incluem, entre outros, tablets, smartphones, câmeras digitais, sistemas de segurança, robôs pessoais, dispositivos de controle automotivos e equipamentos médicos (MARTINS, 2002).

O desenvolvimento de sistemas embarcados tem ocorrido devido ao aumento das exigências do mercado, com a necessidade de sistemas mais seguros, e tecnologias mais inteligentes e flexíveis, necessidade de aumento de desempenho, redução de consumo de energia e capacidade de integração de tarefas sem comprometer o desempenho e nem exceder o consumo de energia (KOUARI et al., 2009).

Apesar de terem sido empregados principalmente em operações de guerra (CORRÊA, 2008) e campos militares em vigilância, reconhecimento, espionagem, combate e utilização para o teste de novas armas, existe uma grande demanda para o emprego de VANTs também em aplicações civis. Por exemplo: vigilância urbana, vigilância de fronteiras, rodovias, infraestrutura crítica, etc. (JAKOB et al., 2010; BOSSONARO et al., 2011). Da mesma forma, são utilizados em linhas de transmissão (CEMIG, 2011), busca e salvamento, mapeamento de território, escolta aérea; monitoramento de obras, queimadas, operações de monitoramento de gasodutos (PETROBRÁS, 2011); e operações de vigilância de fronteiras e monitoramentos, tais como em usinas hidrelétricas e em grandes eventos (MORAES, 2011; GALANTE, 2011).

Assim, os VANTs podem ser utilizados em quaisquer outros tipos de aplicações em lugares de difícil acesso e/ou ofereçam riscos à vida humana.

Como são controlados remotamente, os drones precisam de um sistema robusto e eficaz de comunicação que possa transmitir e receber informações durante o voo de forma segura e eficaz.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo realizar a integração entre software e hardware no controle de uma aeronave de inspeção aérea não tripulada de baixo custo e desenvolver um sistema informatizado de controle e monitoramento da aeronave através de sistemas embarcados, obtendo controle e estabilidade do drone em voo através de equipamentos computadorizados. Para atingir este objetivo, serão definidos alguns objetivos específicos:

- Estudo sobre Drones: inicialmente serão estudados os principais tipos de drones e de controle disponíveis no mercado a fim de definir qual será modificado neste trabalho
- Estudo aprofundado do drone escolhido: o drone escolhido foi estudado para que fosse possível determinar quais as modificações necessárias para que o objetivo deste trabalho seja alcançado
- Modificações no drone: foi desenvolvido um módulo utilizando microcontrolador para realizar o controle do drone
- Testes: testes de utilização foram realizados para a coleta de resultados e análise do hardware desenvolvido

Este trabalho tem como justificativa principal a crescente utilização dos veículos aéreos não-tripulados, e suas diversificadas aplicações, aliado à necessidade constante de atualização de hardware e software por partes dos fabricantes, que necessitam adequar seus equipamentos e produtos às necessidades industriais/operacionais e de mercado, visando atingir demandas diversas e minimizar os riscos e custos em operações.

Para o alcance dos objetivos, o desenvolvimento dos trabalhos ocorreu com base em pesquisas bibliográficas, especialmente através da internet; pesquisa de mercado para aquisição de equipamentos a serem utilizados em projeto piloto; pesquisa de ferramentas de hardware para a integração entre sistema existente no equipamento aéreo e computador; projeto e desenvolvimento de hardware de integração, projeto e desenvolvimento de software para controle e monitoramento do VANT, obtendo como resultados a capacidade de monitorar e controlar o drone através de sistemas computadorizados.

A seguir são apresentados o referencial teórico do trabalho seguido do método de desenvolvimento adotado para este trabalho, os resultados obtidos bem como sua análise, a conclusão e as referências bibliográficas.

1 Referencial teórico

Nesta parte do texto serão apresentados os conceitos necessários para o entendimento do trabalho.

1.1 Drones

Segundo o Departamento de Defesa Americano (*Department of Defense – DoD*), VANT é “uma aeronave ou um balão que não transporta um operador humano e é capaz de voar sob controle remoto ou autônomo” (JP, 2011). Porém, segundo Corrêa (CORRÊA, 2008), o mesmo órgão definia VANT como

[...] um veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, pode ser descartável ou recuperável e pode transportar carga útil letal ou não-letal. Veículos balísticos ou

semibalísticos, mísseis de cruzeiro e projeteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados.

As aplicações dos VANTs apesar de serem utilizadas na maior parte nos campos militares em vigilância, reconhecimento, espionagem, combate e utilização para o teste de novas armas, as aplicações entre os civis estão atualmente ganhando forças, por exemplo: vigilância urbana, vigilância de fronteiras, rodovias, infraestrutura crítica, etc. (JAKOB et al., 2010; BOSSONARO et al., 2011); também são utilizados em linhas de transmissão (CEMIG, 2011), etc.; busca e salvamento, mapeamento de território, escolta aérea; monitoramento de obras, queimadas, dutos (PETROBRÁS, 2011); e quaisquer outros tipos de aplicações que ofereçam riscos a vida humana.

Além das diversas aplicações mencionadas, existem algumas classificações de VANTs. Segundo VALAVANIS (2007), os VANTs podem possuir: asas fixas (*fixed-wing*) ou de asas rotativas (*Rotary-wing*); com decolagem vertical (VTOL – *vertical take-off and landing*) ou decolagem em curto espaço (STOL – *short take-off and landing*), com controle on-board (autônomo) ou off-board (controlado remotamente), e podem ser mais leves ou mais pesados que o ar.



Figura 2: Drone *rotary-wing* – Phantom 3
Fonte: Horus aeronaves



Figura 3: Drone *fixed-wing* – Zangão V
Fonte: Sky Drones

De acordo com as definições dos autores descritas acima, destaca-se dois tipos de VANT (remotamente controlado ou autônomo) como sendo suas principais características. Esta pesquisa se baseia no primeiro tipo, remotamente controlado. Este termo também pode ser chamado de semiautônomo (BILLINGSLEY, 2006).

Uma das formas de controle remoto trata-se de aplicativo de computador a ser utilizado pelo operador do drone para se comunicar com o equipamento em voo, cujas ordens computacionais deverão ser processadas pelo hardware de integração, e posteriormente transferidas ao drone, que executará os procedimentos pertinentes.

1.2 Microcontroladores

Segundo Ibrahim (2008), os microcontroladores são ferramentas que possibilitam o desenvolvedor criar programas de controle e manipulação de dados de entrada e saída. Estes dispositivos são classificados de acordo com o número de bits que eles processam.

Os microcontroladores de 8 bits são os mais utilizados em diversas aplicações e de baixo custo. Existem também os de 16 e 32 bits que são recomendados para aplicações de mais complexidade, obtendo um valor maior no mercado.

A arquitetura do microcontrolador, na sua forma simplificada, possui uma unidade de processamento (microprocessador), memória e entradas/saídas de sinal. As operações lógicas e matemáticas são executadas no

microprocessador, que também é responsável por receber, interpretar e enviar os sinais dos periféricos. Na memória são armazenadas as instruções e/ou rotinas a serem executadas pelo microcontrolador.

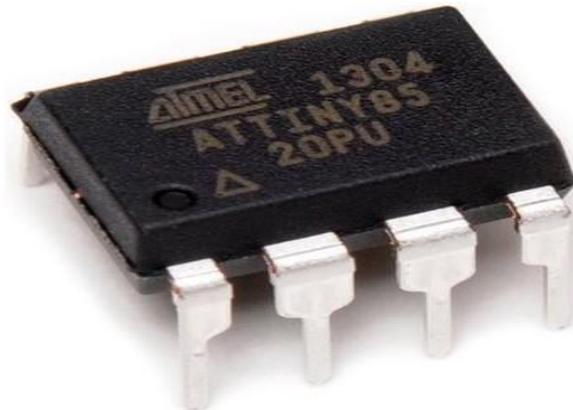


Figura 4: Microcontrolador Attiny85 de 8-bits Atmel
Fonte: Instituto Digital

O Arduino é um pequeno computador programável para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é chamado de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, é um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (MCROBERTS, 2013).

Com o objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos simples e também os mais complexos possibilitando o desenvolvimento com o custo relativamente baixo e sem exigir um conhecimento avançado em eletrônica, o fabricante permite que seu material seja *open-source*, ou seja, disponibiliza a utilização, da IDE de desenvolvimento, bibliotecas e até mesmo os projetos eletrônicos das placas para reprodução sem restrições de direitos autorais. Porém a marca, design gráfico das placas e o logotipo são registrados e restritos para uso. (HACHOUCHE, 2010)



Figura 5: Placa Arduino UNO
Fonte: Arduino

Para a utilização do Arduino é necessário a placa de um modelo específico compatível com o projeto e a IDE Arduino, um Software livre disponibilizado pelo fabricante para escrever o código na linguagem compatível (baseada em linguagem C). Esta IDE Arduino permite escrever o código no computador e depois realizar o upload por meio de um cabo USB mini para a placa para que assim haja a integração do software no hardware.

Nas seções a seguir, veremos os métodos e as ferramentas que foram utilizados neste projeto.

1.3 Trabalhos Relacionados

Com o crescimento das pesquisas e a utilização de drones nas mais diversificadas aplicações nas áreas militares e civis resultam na possibilidade de uma nova informatização dos controles convencionais dos veículos aéreos não-tripulados de diversas maneiras. A utilização de um controle em hardware de forma automática para drones já construídos não é uma prática utilizada, porém é possível encontrar trabalhos como a pesquisa desenvolvida por SILVA (2016) que nos mostra uma maneira de integrar software e hardware no controle do drone.

O trabalho desenvolvido por Silva (2016), consistiu em desenvolver uma aplicação web para controlar um drone remotamente sem a utilização do controle convencional fazendo o uso da IoT (*Internet of things* ou Internet das coisas), ou

seja, utilizando um Raspberry PI com um sistema operacional Linux e Lighttpd (aplicação que suporta códigos em PHP) como servidor web e utilizando também um arduino como um transmissor de sinal (Lighttpd foi responsável por realizar a comunicação serial entre o servidor web e o arduino), controlando o drone através de uma página web.

Outros trabalhos procuram construir os drones a partir do Arduino¹²³⁴, porém com foco em sua estrutura e toda a comunicação, não só a parte de controle. Este tipo de drone tem a vantagem do baixo custo, porém possui o problema da pouca robustez e aplicabilidade, sendo que é utilizado apenas para tarefas recreativas.

Considerando o que foi comentado anteriormente, a seção a seguir apresenta o método e as ferramentas utilizadas nesta pesquisa.

2 Método e Ferramentas

Os métodos foram baseados em pesquisas bibliográficas buscando informações sobre a utilização das ferramentas mais eficientes para o projeto em questão de custo-benefício e desenvolvimento do sistema de controle que supra as necessidades do usuário, visando tornar o projeto de integração entre hardware e software acessível para qualquer classe econômica.

2.1 Métodos

Para tornar a pesquisa mais estruturada, os métodos foram baseados de acordo com as informações do fluxograma da Figura 6. A primeira fase indica a pesquisa sobre os drones que foi feita com base nos modelos mais vendidos na internet⁵, para aliar o baixo custo a uma durabilidade que permitisse a modificação do equipamento. Então, após o estudo, o modelo utilizado neste trabalho que será descrito posteriormente foi adquirido.

¹ <https://www.palpitedigital.com/como-fazer-drone-caseiro-arduino/>

² <https://www.youtube.com/watch?v=sKL4otVw2zM>

³ <http://www.hardmob.com.br/faca-voce/665284-drone-montando-drone-arduino.html>

⁴ <http://aeromodelosedrones.blogspot.com.br/>

⁵ <http://dronecentral.com.br/4-drones-perfeitos-para-iniciantes/>

As definições e características de cada drone, assim como seus formatos e tipos de controle vistos em pesquisa resultaram no entendimento do sistema necessário para o projeto-piloto. Foi realizado um estudo aprofundado das ferramentas necessárias para a realização da integração do hardware de controle do drone e também um estudo do circuito integrado na placa eletrônica de controle identificando as técnicas e peças necessárias a serem utilizadas.

Nesta fase foi decidido que o controle do drone era simples e poderia ser controlado com o Arduino facilmente. Ao abrir o controle do drone foram encontrados dois potenciômetros que podem ser substituídos por potenciômetros digitais. A figura 7 apresenta o controle do drone aberto.

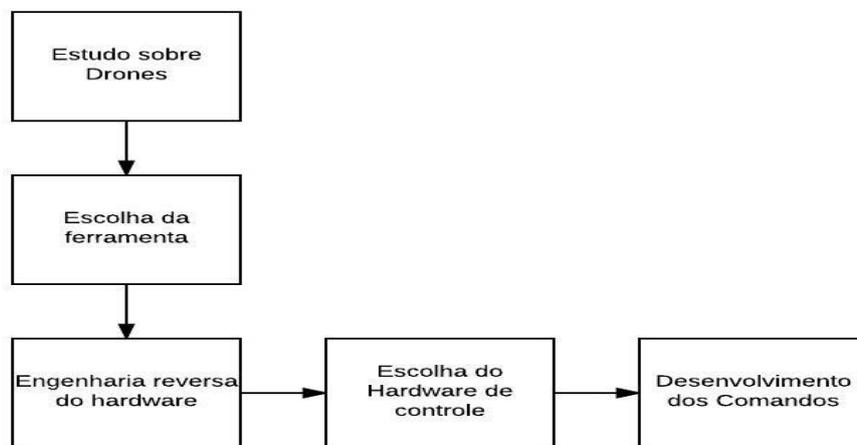


Figura 6 – Fluxograma de Pesquisa



Figura 7 – Controle do drone escolhido desmontado. Os círculos vermelhos indicam os potenciômetros.

Estes estudos resultaram na compra dos equipamentos necessário para que a integração de software e hardware do controle fosse devidamente realizada dentro dos padrões de custo-benefício e funcionalidade do drone, assim como também o desenvolvimento dos comandos do software que visa controlar a aeronave pelos sistemas computadorizados.

Para o software embarcado no hardware de integração, foi utilizada a placa arduino devido sua flexibilidade e a facilidade de manuseio da plataforma Arduino Software IDE (Integrated Development Environment), que se trata de uma plataforma de desenvolvimento de códigos em C e foi utilizada na versão 1.8.5. Após o desenvolvimento do código, foi enviado a versão compilada para a memória flash do Arduino, através da porta serial USB ou utilizando WI-FI para que, através do Arduino, a integração entre o hardware do VANT e o software seja realizada.

2.2 Funcionalidades necessárias ao projeto

Aeronave:

- Movimento Vertical – ascendente e descendente;
- Movimento horizontal com direcionamento em todos os ângulos;
- Rotação 360°;
- Alcance mínimo de controle – 50m;

Software:

- Controle de movimentação vertical;
- Controle de movimentação horizontal;
- Rotação da aeronave;
-

Hardware:

- Interface de comunicação USB;
- Compatibilidade com o hardware do controle remoto da aeronave;

2.3 Ferramentas do projeto

Para este projeto, foi utilizado o drone Syma X5c modelo FQ777 com as seguintes especificações:

- Funções do motor com orientação de 360° graus, encaminhar / retroceder;
- Voo para a lateral, virar esquerda, direita, para cima e para baixo;
- Giroscópio de 6 eixos;
- Conectividade controle remoto de 2.4GHz com 4 canais, canal de controle sem fio com distância de até 50m;
- Possuindo uma bateria de 3.7V – 600mAh com 6 minutos de duração em voo.



Figura 8: Drone syma X5c modelo FQ 777 sem câmera **Fonte:** Eletro Drones.

Foi utilizado também o Node Mcu v3, contendo as seguintes especificações:

- Programação e alimentação via Micro-USB;
- Tensão de operação: 5V – 9V (Via Micro-USB e pino VIN);
- Corrente de operação: em média 70 mA (com picos de 200mA);
- Chip WiFi ESP8266 - 12E com conexão WIFI padrão 802.11 b/g/n e antena embutida;
- Memória RAM: 20 KB;
- Memória FLASH: 4MB;
- Modos de operação: Access Point /Station /Access Point + Station.
- Potenciômetros digitais para Integração com hardware de controle remoto do drone;



Figura 9: Placa de arduino LoLin NodeMcu v3
Fonte: 3d mechatronic

3 Resultados e Análise

O desenvolvimento do trabalho consistiu, portanto na modificação da placa do *drone* que foi mostrada na Figura 8, onde os potenciômetros que controlavam a placa foram retirados e substituídos por potenciômetros digitais. Estes potenciômetros funcionam como um potenciômetro comum, porém seu controle é feito de forma digital como apresentado na Figura 10.

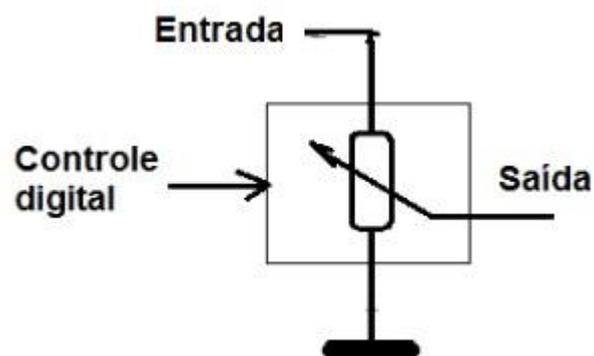


Figura 10 – Potenciômetro digital

Então ficou a cargo do Arduino enviar os sinais de controle ao potenciômetro que iria controlar o drone. Este hardware permite ao usuário controlar de forma mais fina o ajuste de posicionamento que não é simples de ser feito no controle comum do drone.

O ponto inicial de controle do drone estava no valor intermediário do potenciômetro sendo o valor necessário para o início da execução do hardware

de controle. Quatro botões digitais foram utilizados para modificar os valores da resistência um para aumentar e outro para diminuir em cada um dos potenciômetros.

A principal questão no desenvolvimento do sistema é qual o tempo de resposta do sistema como um todo para o controle do Drone. Ao utilizar o controle, o tempo de resposta fica a cargo da pessoa que está pilotando o *Drone*, porém em um circuito eletrônico. Os modelos de tempo-real como apresentados por Gambier (2004) não são aplicáveis a este trabalho por ser uma aplicação inteira em hardware dependente apenas do tempo de resposta do arduino e não de sistemas operacionais de tempo-real por exemplo. O arduino utilizado possui frequência de 16MHz que é o padrão de dispositivos arduino.

Como não é esperado nenhum tipo de conversão analógico/digital, já que o circuito é totalmente digital, o tempo de resposta é de 0,06 ms. Neste caso o tempo de processamento de uma leitura de push-button e o envio do sinal para o potenciômetro digital é de 0,12ms no pior caso. Considerando um potenciômetro digital comum do mercado, como por exemplo o modelo X9C103s, temos o tempo de resposta de mudança de 100ns, o que irá acarretar em um atraso quase nulo a partir do envio do sinal. É possível considerar o tempo de chegada do controle de 0,12ms. Este tempo é suficiente para o controle do *drone* pela forma que foi projetado o circuito.

O controle desmontado para a realização de medições e verificações foi apresentado na Figura 11 com as modificações propostas.

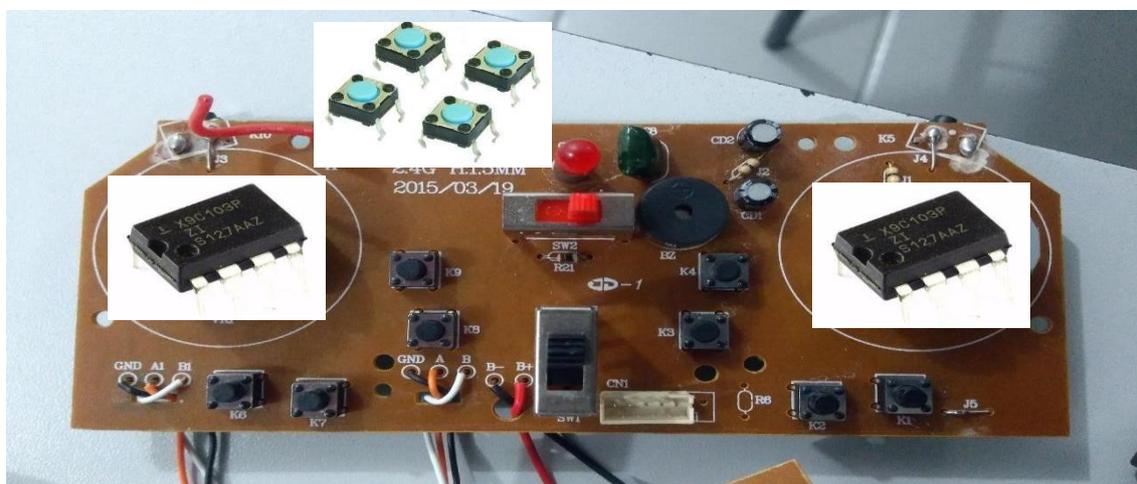


Figura 11 – Potenciômetros Digitais e *Push-Buttons* de controle.

Abaixo a figura 12 mostra um diagrama da montagem dos componentes feito no software de diagramação de circuitos Fritzing⁶.

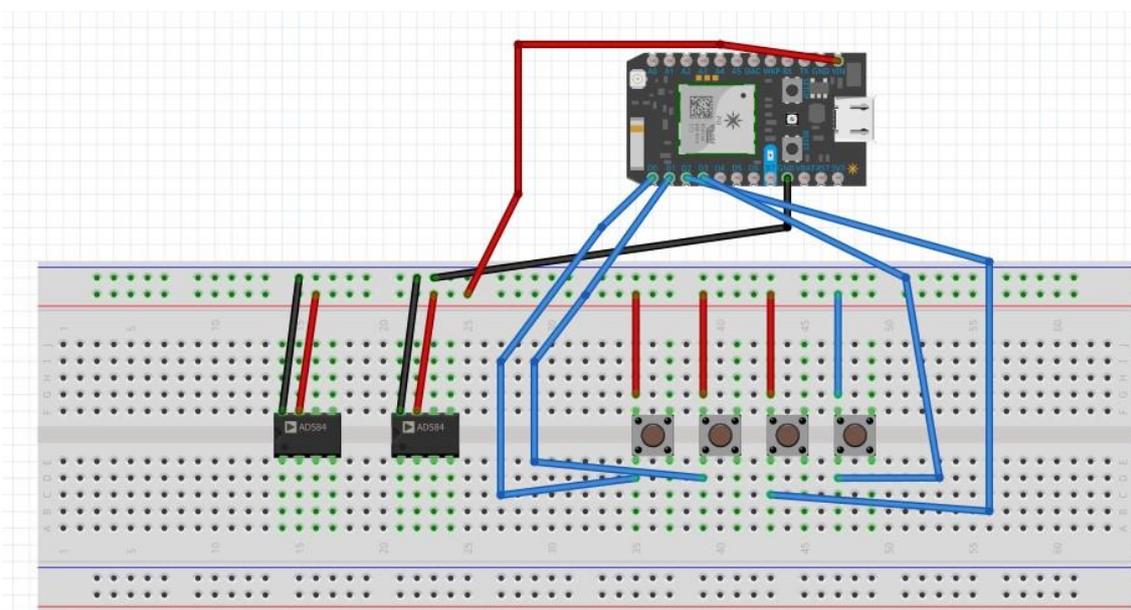


Figura 12 – Diagrama da Montagem do Circuito.

Os botões ocupam 4 entradas digitais da placa escolhida, e os potenciômetros digitais são controlados por dois sinais de saída também digitais. O código de controle é muito simples onde a medida que o botão é pressionado a saída de controle é acionada também. Inicialmente não haveria necessidade de se colocar um arduino para fazer o controle, porém a medida que o projeto for sendo adaptado para cada tipo de situação e de equipamento diferente é possível, na codificação, proporcionar um controle melhor de tempo de resposta e também de ajustes que venham a ser necessários.

Um problema com o fornecimento de peças inviabilizou a montagem e o teste real do circuito para este trabalho. Sendo, portanto, o resultado final a codificação do arduino e também o projeto do circuito.

Considerações Finais

Este trabalho tinha por objetivo realizar a integração entre software e hardware no controle de uma aeronave de inspeção aérea não tripulada de

⁶ <http://fritzing.org/home/>

baixo custo e desenvolver um sistema informatizado de controle e monitoramento da aeronave através de sistemas embarcados, obtendo controle e estabilidade do drone em voo através de equipamentos computadorizados.

Os objetivos específicos que não dependiam de peças externas como o estudo dos drones, a escolha do equipamento de trabalho, escolha e configuração do arduino a ser utilizado e, por fim, o estudo aprofundado de como é feito o controle do *Drone* foram atingidos. O objetivo final ficou comprometido em razão da demora das peças para a montagem do circuito.

É importante salientar que um controle mais simples para os *drones* é de extrema importância visto que são veículos aéreos extremamente difíceis de se controlar em suas versões de baixo custo, e também apresentam um grande risco de quedas e acidentes (além do prejuízo) em suas versões de alto custo com câmeras e outros sensores.

Como trabalhos futuros temos a implementação real do sistema no equipamento escolhido e os testes finais, e também a utilização deste método de desenvolvimento de controle para outros *drones* a fim de obter um controle melhor e mais robusto.

Referências

- ARMADA. The Growing Word of Unmanned Airborne Spies. IN: Armada International, vol.28, n° 3, 2004.
- BILLINGSLEY, T. B. Safety Analysis of TCAS on Global Hawk using Airspace Encounter Models. Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2006.
- BOSSONARO, A. A. et al: An Integrated System to Support Critical Infrastructure Securit. In: 1st Brazilian Conference on Critical Embedded Systems (CBSEC 2011). São Carlos, Brazil: [s.n.]. 2011.
- CEMIG. Monitoramento nas alturas: Aeronave autônoma será utilizada nas Inspeções das linhas de transmissão da Cemig. Revista P&D – Informativo do programa de gestão estratégica em tecnologia da CEMIG, n. 7, p. 32-34, 2011.
- CORRÊA, Mario. Modelo de Veículos Aéreos não Tripulados Baseado em Sistemas Multi-agentes. 2008. 89 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- GALANTE, A. VANT inovador feito na USP monitora desmatamento em Jirau. Poder Aéreo, 2011. Disponível em: <http://www.aereo.jor.br/2011/07/15/vantinovador-feito-na-usp-monitora-desmatamento-em-jirau/>>. Acesso em: 1 Julho 2017.

GAMBIER, A. Real-time Control Systems: a tutorial. Asian Control Conference proceedings. P 1-6. 2004.

GUIMARÃES, J. P. F. Controle de Atitude e Altitude Para um Veículo Aéreo do Tipo Quadricóptero. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dezembro 2012.

HACHOUCHE, Anwar S. Apostila Arduino Básico v1.0 p 6-7; 2010. Disponível em: http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduino_Basico-V1.0Eletrogate.pdf ; Acesso em: 7 Setembro 2017.

IBRAHIM, D. Advanced PIC microcontroller projects in C: From USB to ZIGBEE with the PIC 18F Series. New York: Elsevier, 2008. 560 p.

JAKOB, M. et al. Occlusion-aware Multi-UAV Surveillance of Multiple Urban Areas. In: 6th Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT 2010). Toronto Canada: [s.n.]. 2010.

JP. Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms. [S.l.]: Joint Education and Doctrine Division, J-7, Joint Staff, 2011.

KOUDRI, A.; CHAMPEAU, J.; AULAGNIER, D.; SOULARD, P. MoPCoM MDD process applied to a cognitive radio system design and analysis. 2009.

MARTINS, C. A. P. da S.; ORDONEZ, E. D. M. C. J. B. T. Computação Reconfigurável: conceitos, tendências e aplicações. Relatório Técnico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas), 2002.

MICROBERTS, Michael, Arduino Básico, Novatec Editora LTDA, Março, 2013.

MORAES, M. Aviões-robôs ajudam a vigiar os céus. INFO online, 2011. Disponível em: <http://info.abril.com.br/noticias/tecnologia-pessoal/avioes-robosvisam-os-ceus-22082011-6.shl>>. Acesso em: 24 Junho 2017.

PETROBRÁS. Inovação: Dirigível registra obras de gasodutos. Petrobrás: Democracia & Política, 2011. Disponível em: <<http://democraciapolitica.blogspot.com.br/2011/04/inovacao-da-petrobrasdirigivel.html>>. Acesso em 2 Julho 2017.

SILVA C. A. César, Desenvolvimento e Integração de um Sistema com IoT e Drone. Tese de graduação em Engenharia da computação. Departamento de Ciência da Administração e Tecnologia – Universidade de Araraquara (UNIARA) 2016.

VALAVANIS, K. P. Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy. Tampa, Florida, USA: Springer, 2007.