

## DESENVOLVIMENTO DE UM SUBSISTEMA DE TELEMETRIA UTILIZANDO O ARDUINO

**Allan D. C. Silva** – allan.costa@ee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Rua Aprígio Veloso, 882  
58429900 – Campina Grande – Paraíba

**Emídio A. Oliveira Neto** – emidio.neto@ee.ufcg.edu.br

**Matheus D. Lucena** – matheus.lucena@ee.ufcg.edu.br

**Resumo:** Este trabalho descreve dois métodos para o uso de ferramentas que utilizam o Arduino, aplicadas ao sistema telemétrico de uma aeronave rádio controlada não tripulada da equipe Parahybas de Aerodesign. O primeiro método utiliza dados de dois sensores com intermédio do Filtro de Kalman, para obter resultados referentes à posição angular da aeronave; o segundo utiliza um sensor de corrente elétrica para determinar o estado de funcionamento de servo motores. O uso do Filtro de Kalman permitiu uma melhor estimativa dos resultados, corrigindo o efeito dos ruídos, enquanto que os resultados referentes à corrente elétrica instantânea permitiram diferenciar um atuador com defeito de um em perfeito estado.

**Palavras-chave:** Arduino. Aeronave. Filtro de Kalman.

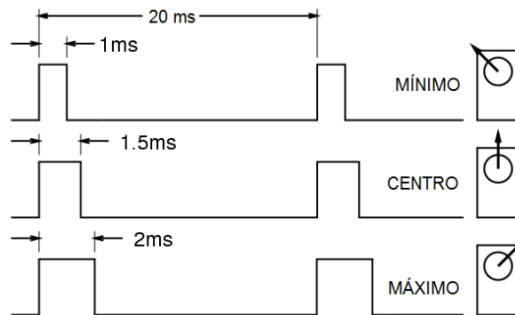
## 1 INTRODUÇÃO

O Desafio SAE Brasil de Aerodesign é uma importante forma de estimular estudantes de engenharia a solucionar problemas mediante a aplicação de conceitos técnicos e científicos durante a concepção de um projeto aeronáutico.

De acordo com Silva (2018), no projeto de uma aeronave, o dimensionamento dos servo motores é de suma importância para garantir o movimento exigido pelas superfícies responsáveis pelo controle direcional da aeronave.

Esses atuadores, rotativos ou lineares, funcionam por PWM (Pulse Width Modulation), assim, a posição do seu braço é controlada por meio de um sinal com frequência de 50 HZ e pulsos com largura de 1 a 2 ms.

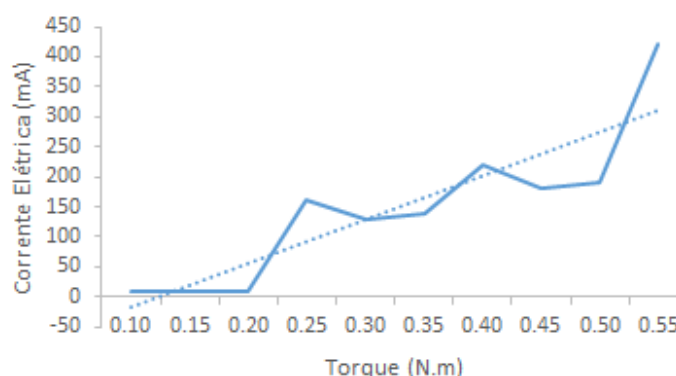
Figura 1: Sinais de controle de um servo motor.



Fonte: EPUSP (2014).

Considerando esse padrão, é possível analisar algumas variáveis, uma delas, é a corrente elétrica, que a partir de um sensor apropriado, pode ser monitorada continuamente e fornecer informações acerca do estado de funcionamento dos servos, uma vez que o torque desses motores apresenta uma relação forte com essa grandeza, a qual pode ser observada pela linha de tendência da Figura 2.

Figura 2: Gráfico da corrente elétrica (A) vs torque (N.m) de um servo motor.



Fonte: Autoria própria.

Já durante o voo, outras variáveis protagonizam a necessidade de medições, como a posição angular da aeronave, que gera informações importantes para outras áreas da equipe, como, por exemplo, a área de estabilidade.

Dentre diversos aspectos importantes que compõem a elaboração e a execução de um projeto de aerodesign, existe a necessidade de realizar medições para garantir a segurança e a eficiência da aeronave. Assim, a telemetria aparece como um recurso para aferir dados de um modelo aéreo rádio controlado em voo.

Segundo Lozano-Nieto (1999), a telemetria trata-se do ato de reunir determinada quantidade de informação em uma localização remota e transmiti-la até a um ponto de armazenamento e análise.

Assim, este trabalho descreve a concepção de um subsistema de telemetria para monitoramento do estado de funcionamento de servo motores e obtenção de informações referentes ao posicionamento da aeronave.

Além desta seção introdutória, o trabalho foi organizado da seguinte forma: seção 2, na qual apresenta-se a fundamentação teórica dos temas mais relevantes para o estudo; seção 3, onde é descrita a metodologia utilizada para resolver o problema; seção 4, na qual apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos; por fim, na seção 5, as conclusões do trabalho são apresentadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresentam-se a seguir os principais fundamentos teóricos requeridos à compreensão do subsistema proposto. A obtenção das medidas instantâneas da corrente elétrica, aferidas pelo sensor ACS 712, foi feita de maneira direta, por comunicação serial e, para a leitura dos resultados obtidos a partir do sensor MPU 6050, utilizou-se o Protocolo I<sup>2</sup>C, devido à necessidade de interação entre os componentes e, o algoritmo matemático do Filtro de Kalman.

### 2.1 Protocolo I<sup>2</sup>C

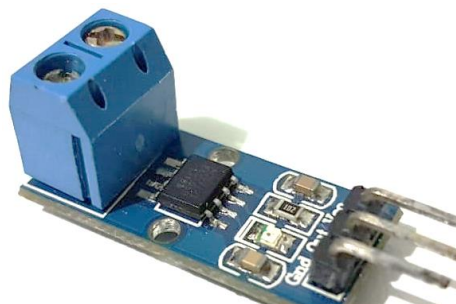
O I<sup>2</sup>C é um protocolo de comunicação a dois fios, chamados de SDA (*Serial Data*), que transfere em uma linha bidirecional de comunicação e, o SCL (*Serial Clock*), responsável por sincronizar o tempo de cada ciclo de funcionamento.

Segundo Reis (2014), esse protocolo atribui uma relação “*master-slave*” aos dispositivos que estão conectados, onde ao menos um deles é o mestre, que coordena a comunicação e, os demais são servos, que, em teoria, podem totalizar até 127 dispositivos.

### 2.2 Sensor ACS712

O ACS712, Figura 3, é um sensor de corrente elétrica do tipo invasivo, com funcionamento baseado no efeito hall, que mede correntes entre -5 e +5 A, conforme apresentado na Figura 3. O efeito hall detecta o campo magnético gerado pela passagem de corrente, gerando na saída do módulo uma tensão analógica proporcional a 185 mV/A.

Figura 3: ACS 712.



Fonte: Autoria própria.

### 2.3 Filtro de Kalman

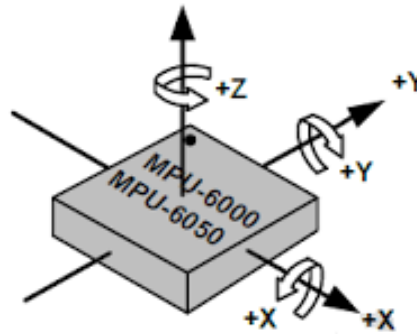
Segundo Gonçalves (2005), o Filtro de Kalman é uma solução computacional, feita a partir de um conjunto de equações matemáticas, para o problema da estimação dos estados instantâneos de um sistema linear dinâmico perturbado por ruído Gaussiano branco usando-se medições linearmente relacionadas aos estados e também corrompidas por ruído branco, o que, em termos práticos, permite estimar estados passados, presentes e futuros sem o conhecimento preciso do modelo, o que o torna útil na área de controle e fusão sensorial.

### 2.4 MPU

O MPU6050 é um sensor composto por um acelerômetro e um giroscópio de alta precisão, sensíveis aos três eixos (x, y, z), como pode ser observado na Figura 4. São controlados por um Circuito Integrado, um sensor de temperatura e um recurso chamado DMP (*Digital Motion Process*).



Figura 4: Esquema de graus de liberdade de um MPU.

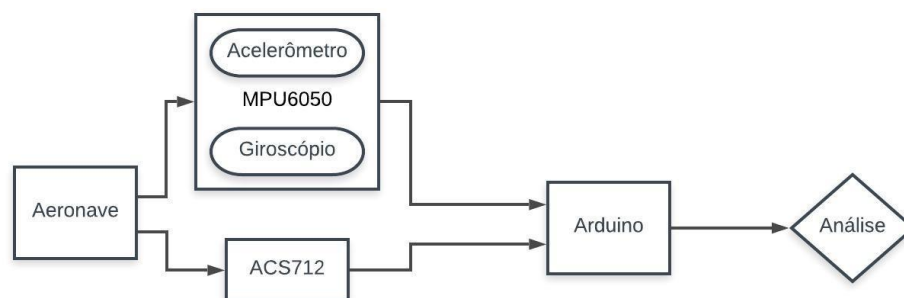


Fonte: INVENSENSE (2013).

### 3 METODOLOGIA

O subsistema proposto segue o diagrama de blocos da Figura 5.

Figura 5: Diagrama de Blocos da Metodologia.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro método aplicado foi a utilização do Filtro de Kalman para tratar os dados obtidos por meio do MPU6050 conectado ao Arduino, a fim de estimar com precisão, a posição angular da aeronave, já o segundo método fez o uso de medidas obtidas a partir do sensor ACS712 conectado ao microcontrolador para analisar o estado de funcionamento dos atuadores rotativos da aeronave.

#### 3.1 Posição angular da aeronave

Para estimar a posição angular da aeronave, criou-se dois cenários distintos: no primeiro, o sensor MPU6050 está sobre uma superfície em repouso; no segundo, são inseridas trepidações na superfície, então, são feitas análises a partir dos dados obtidos por meio do ambiente de desenvolvimento integrado do próprio Arduino, que permitiu a plotagem dos dados em tempo real.

#### 3.2 Estado de funcionamento dos servo motores

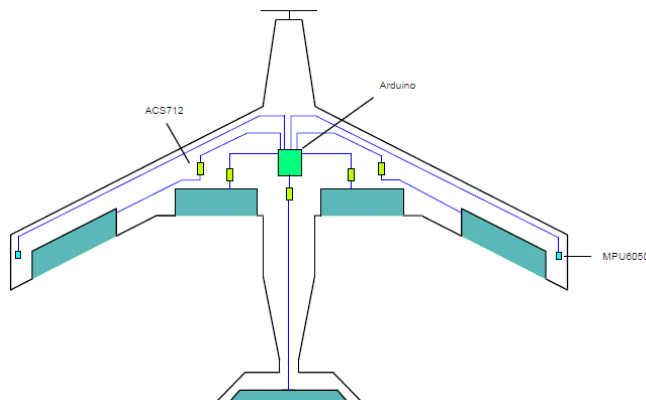
Para a análise do estado de funcionamento dos servo motores, optou-se por monitorar a corrente elétrica, devido à sua relação intrínseca com o torque e à possibilidade de estimar a energia consumida pelo sistema elétrico da aeronave.

O estudo foi feito da seguinte forma: primeiro, um servo motor com defeito conhecido foi submetido ao esforço para sustentar uma carga com massa de 1 kg, elevando-a gradativamente até atingir a carga máxima suportada pelo servo, com braço de alavanca na posição 0 (posição

horizontal), posteriormente, um servo motor, em bom estado de operação, foi submetido às mesmas condições do anterior.

A aplicação do subsistema numa aeronave rádio controlada pode ser observada no esquema da Figura 6.

Figura 6: Esquema de aplicação.

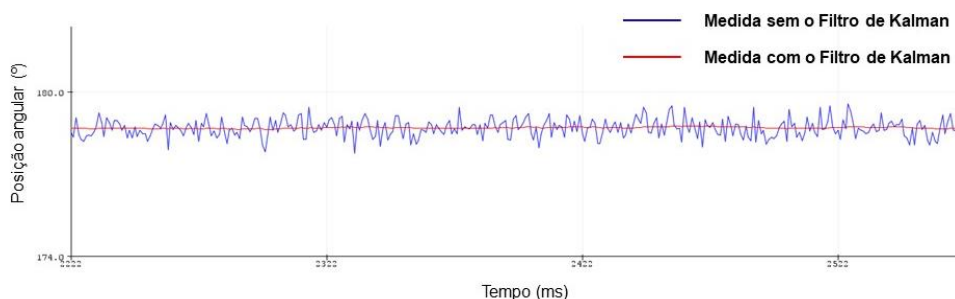


Fonte: Autoria própria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à análise gráfica dos dados referentes à posição angular, primeiro método, observa-se na Figura 7, com o sensor sob o cenário 1, que as medidas obtidas com o filtro de Kalman, em vermelho, são mais estáveis que as medidas feitas sem o uso do algoritmo matemático, devido à fusão dos sensores e a predição dos resultados.

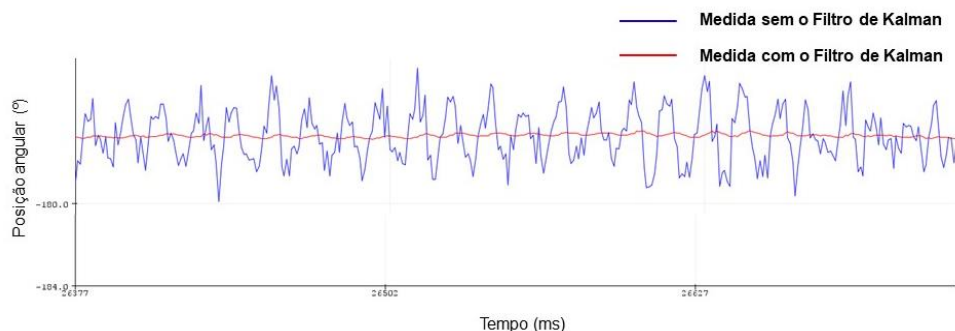
Figura 7: Gráfico da posição angular ( $^{\circ}$ ) vs o tempo (ms) para o cenário 1.



Fonte: Autoria própria.

Essa diferença torna-se mais visível no cenário 2 (Figura 8), no qual são incluídas trepidações na superfície.

Figura 8: Gráfico da posição angular ( $^{\circ}$ ) vs o tempo (ms) para o cenário 2.



Fonte: Autoria própria.

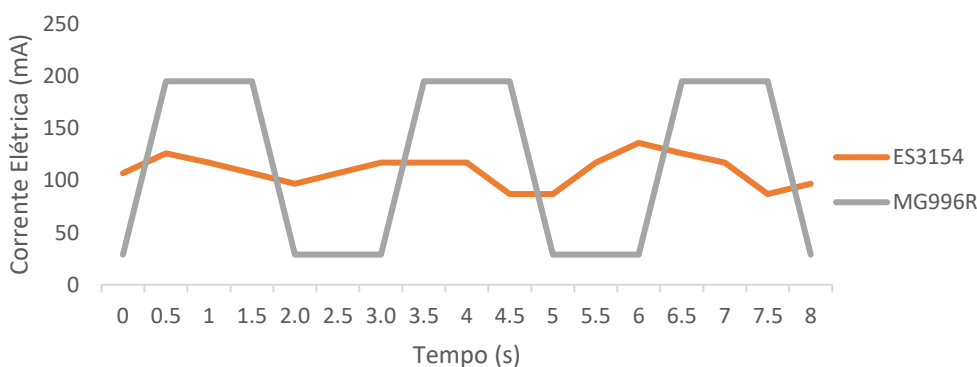
Como resultado da inclusão das trepidações, há a ampliação do ruído, visto em azul. Contudo, nota-se que houve pouca mudança no sinal resultante do Filtro de Kalman, em vermelho.

Para ambos os cenários, o Filtro de Kalman permitiu obter medidas mais estáveis e, consequentemente, melhores estimativas da posição angular, o que cria a possibilidade de utilização do sensor para aferir o ângulo dos três eixos com boa precisão, o que não seria praticável sem o uso desse algoritmo matemático.

Para o segundo método, observou-se que o servo motor ES3154, com defeito, apresentou vibrações mecânicas quando o torque necessário para movimentar a carga ainda era inferior ao seu torque máximo, já o MG996R, apresentou um bom funcionamento quando submetido a esforços para movimentar cargas dentro do seu limite.

Além disso, é possível notar que as medidas geradas pelo servo MG996R, proporcionaram um sinal com períodos de tempo bem definidos, característicos do seu funcionamento, já o primeiro servo, com defeito, gerou um gráfico irregular, como pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Gráfico da corrente elétrica (A) vs tempo (s) dos servos ES3154 e MG996R.



Fonte: Autoria própria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do Filtro de Kalman no algoritmo criado para realizar as medições, implicou numa maior estabilidade do sinal e, consequentemente, melhorou a estimativa da posição angular da aeronave. Já a análise da corrente elétrica no tempo de dois servomotores permitiu a identificação, por meio dos gráficos gerados, do sinal de um servo motor com defeito.

Assim, para a aplicação desse subsistema, sugere-se uma análise considerando diferentes cenários, o aumento do número ensaios e, a utilização de um sensor de corrente elétrica com escala mais adequada, além disso, é possível acrescentar outros sensores para ampliar quantidade de medições, assim como, projetar o subsistema responsável pela transmissão dos dados.

### Agradecimentos

Os autores desse trabalho agradecem à Universidade Federal de Campina Grande pela estrutura disponibilizada.



## REFERÊNCIAS

GOMES, Pedro Henrique de Oliveira. **Concepção de Sistema de Telemetria para Aeronaves Remotamente Controladas**. 2016. 46 f. Monografia (Graduação) - Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

GONÇALVES, Dimas José. **Aspectos Matemáticos do Filtro de Kalman Discreto**. 2005. 15 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Campinas, 2005.

LOZANO-NIETO, Albert. Telemetry. **Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays**. CRC Press LLC, p. 27-1-27-17, 2003.

OLIVEIRA, Waldri dos Santos; GONÇALVES, Eduardo Nunes. Implementação em C: Filtro de Kalman, Fusão de Sensores para Determinação de Ângulos. **ForScience**, v. 5, n. 3, 2017.

REIS, V. R. **I2C – Protocolo de Comunicação**. Disponível em: <http://www.arduino.br.com/arduino/i2c-protocolo-de-comunicacao/>. Acesso em: 29 de set. 2018.

SILVA, Allan David da Costa et al. Método de Avaliação do Estado de Funcionamento dos Servo Motores de uma Aeronave Rádio Controlada. In: III Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2018, Campina Grande. **Anais do III CONAPESC**. Campina Grande, 2018.

ZUCATELLI, Fernando Henrique Gomes; OLIVEIRA, Marco Aurélio Vinchi. **Controle de Servomotores CC**. 2007. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo) - Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, 2007.

## DEVELOPMENT OF A TELEMETRY SUBSYSTEM USING ARDUINO

**Abstract:** *This work describes two methods for the use of Arduino tools, applied to the telemetric system of an unmanned radio controlled aircraft of the Parahybas team of Aerodesign. The first method uses data from two sensors with intermediate of the Kalman Filter, to obtain results concerning the angular position of the aircraft; the second uses an electric current sensor to determine the servo motors operating state. The use of the Kalman Filter allowed a better estimation of the results, correcting the effect of the noise, while the results referring to the instant electric current allowed to differentiate a defective actuator from one in perfect condition.*

**Key-words:** *Aircraft. Arduino. Kalman Filter.*