



SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA UMA AERONAVE DO TIPO AERODESIGN

GUILHERME FELIPPE ALMEIDA GUIMARÃES¹, FERNANDO DE HARO MORAES²

1 Graduando em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, guilhermealmeida0517@gmail.com

2 Doutor em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, fernandohm@ifsp.edu.br

Área de conhecimento –1.03.03.02.-2

RESUMO: Este trabalho descreve o desenvolvimento e a implementação de um sistema de aquisição de dados utilizando o microcontrolador Arduino, junto de um módulo GPS embarcado para uma aeronave rádio-controlada destinada à competição SAE Brasil Aerodesign. O objetivo central do projeto é a aquisição e análise dos dados de voo, permitindo que a equipe monitore e analise o comportamento da aeronave durante as missões. A competição, que reúne anualmente estudantes de engenharia de todo o país, exige otimização máxima dos protótipos, tornando a obtenção de dados muito importantes para o desenvolvimento da equipe.

A importância do sistema reside na capacidade de validar as simulações e cálculos de projeto, fornecendo informações precisas sobre o desempenho experimental do avião. Entre os principais dados obtidos pelo sistema, destacam-se a velocidade de voo, latitude e longitude. Essas variáveis, em especial a velocidade, são fundamentais para avaliar a eficiência aerodinâmica, o desempenho do grupo motopropulsor e a segurança operacional da aeronave.

Em suma, o sistema de aquisição de dados desenvolvido é uma ferramenta para análise dos resultados de voo e fornece a base de dados necessária para o aprimoramento do projeto e a competitividade na “SAE Brasil Aerodesign”.

PALAVRAS-CHAVE: Aerodinâmica; arduino; gps; velocidade; sistema; voo.

INTRODUÇÃO

A competição SAE Brasil Aerodesign representa um dos principais desafios de engenharia para estudantes de graduação no país. O evento incentiva os alunos a aplicar conhecimentos teóricos de engenharia na prática, por meio do projeto, construção e teste de uma aeronave rádio-controlada capaz de cumprir missões específicas, sendo a principal transportar a maior carga útil possível. Neste cenário de alta competitividade, a otimização do projeto aerodinâmico e a validação do desempenho da aeronave são fatores decisivos para o sucesso. Tradicionalmente, muitos projetos de Aerodesign são baseados em simulações computacionais e cálculos teóricos, como os fundamentos de desempenho descritos por Rodrigues (2014). No entanto, existe um frequente desafio entre o desempenho previsto e o desempenho observado em voo. A obtenção de dados empíricos para validar os modelos é um desafio, pois sistemas de telemetria comerciais são muitas vezes caros ou pesados, sendo inviáveis para a equipe obter dados para a competição. Neste contexto, o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados embarcado, de baixo custo e leve, torna-se uma ferramenta muito útil. A capacidade de registrar dados de voo, como velocidade, latitude e longitude, permite à equipe analisar o comportamento real da aeronave, validar os cálculos de projeto, como a velocidade de estol e a velocidade de cruzeiro e identificar pontos de melhoria.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento, a implementação e a validação de um sistema de aquisição de dados experimental de baixo custo. Os dados obtidos do sistema permitem a análise de valores teóricos obtido por análises nos setores de Aerodinâmica e Cargas e Aeroelasticidade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesquisa se baseou nos princípios da engenharia aeronáutica, que como detalhado por Rodrigues (2014) e Gudmundsson (2022) em “FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA AERONÁUTICA COM APLICAÇÕES AO PROJETO SAE-AERODESIGN: AERODINÂMICA E DESEMPENHO” e “General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures” respectivamente, exige-se métricas de desempenho para construir uma aeronave otimizada. A velocidade de decolagem é um dos parâmetros mais importantes para um aperfeiçoamento de um projeto de aerodesign, como segue a equação (1), se tem como referência para aproximação na análise dos dados obtidos posteriormente no trabalho.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S \cdot C_{L0}}} \quad (1)$$

Onde,

v – Velocidade da aeronave

W – Peso da aeronave

ρ – densidade do ar

S – Área de asa

C_{L0} – Coeficiente de sustentação para ângulo de ataque zero

METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados foi dividida em quatro etapas principais: seleção do hardware e conexão dos componentes, desenvolvimento do software de operação, procedimento experimental de coleta e, por fim, tratamento dos dados obtidos.

MATERIAIS E MONTAGEM DO HARDWARE

Para a construção do sistema de aquisição de dados embarcado, foram selecionados componentes de baixo custo e ampla disponibilidade. Para a unidade de processamento foi selecionado um microcontrolador **Arduino Uno**. Para a aquisição dos dados de voo, foi utilizado um módulo **GPS NEO 6-M**, capaz de fornecer informações de geolocalização (latitude e longitude), velocidade e tempo. O armazenamento dos dados foi realizado por um **módulo leitor de cartão SD**, no qual um cartão de memória foi inserido.

A alimentação do sistema em voo foi fornecida por uma **bateria de 9V**, tornando o conjunto autônomo por uma estimativa de 3 horas, considerando o consumo do sistema de 160 mA, em que o Arduino consome 40mA, o módulo GPS 70mA e o módulo SD 50mA, como segue a equação (2) abaixo.

$$A = \frac{C_b}{C_t} \quad (2)$$

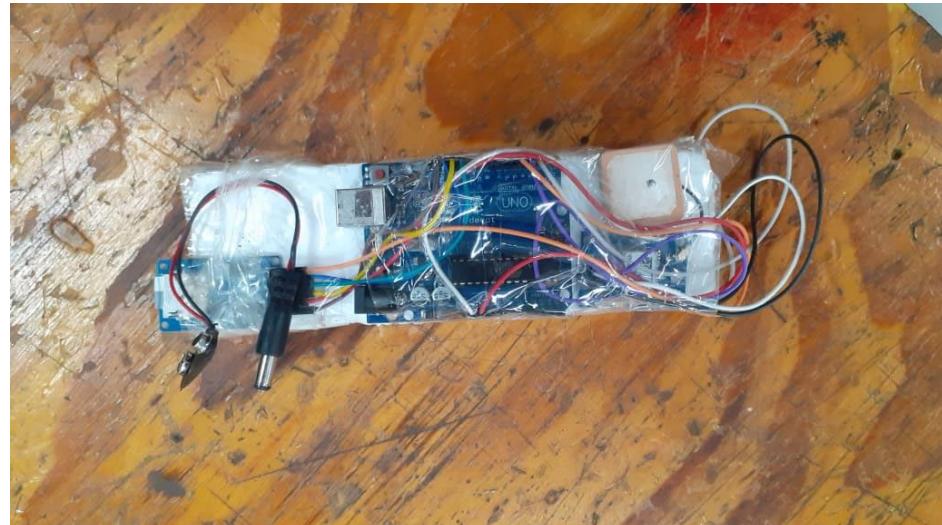
onde,

A – Autonomia da bateria [h]

C_b – Capacidade da bateria[mAh]

C_t – Consumo total[mA]

FIGURA 1. Montagem esquemática do sistema de aquisição de dados.



Fonte: Próprio autor.

DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O firmware do sistema foi desenvolvido na IDE oficial do Arduino, utilizando a linguagem C++. O código foi estruturado com o auxílio de quatro bibliotecas principais:

SoftwareSerial: Utilizada para criar uma porta de comunicação serial via software (pinos 2 e 3) para o módulo GPS, liberando a porta serial principal do Arduino para monitoramento e *debug* em solo.

TinyGPS: Biblioteca dedicada a decodificar as sentenças NMEA enviadas pelo GPS, facilitando a extração de dados como latitude, longitude, velocidade (`gps1.f_speed_kmph()`) e tempo(`gps1.crack_datetime()`).

SPI e SD: Bibliotecas necessárias para a comunicação com o módulo de cartão SD via protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) e para a escrita dos dados em um arquivo de texto. O algoritmo desenvolvido inicializa os módulos, aguarda o sinal dos satélites e, assim que recebe dados válidos (`recebido == true`), extrai as informações de interesse (latitude, longitude, tempo, velocidade) e as salva no cartão SD.

FIGURA 2. Bibliotecas utilizadas para o funcionamento do sistema.

```
// Bibliotecas
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>

SoftwareSerial serial1(2, 3); // RX, TX
const int chipSelect = 4;
TinyGPS gps;
File dataFile;
void setup() {
    serial1.begin(9600);
    Serial.begin(9600);

    Serial.println("aguardando pelo sinal dos satelites...");
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.println("Initialization failed!");
        return;
    }
    Serial.println("Initialization done.");
}

void loop() {
    bool recebido = false;

    while (serial1.available()) {
        char cIn = serial1.read();
    }
}
```

Fonte: Próprio autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E COLETA

O processo experimental teve a primeira parte sendo em solo, ligando o sistema em ambiente aberto para verificar a aquisição de sinal e confirmar a gravação dos dados no SD. Após isso, foi embarcado na aeronave para registro completo da missão de voo, sendo desligado posteriormente e gravado em um arquivo txt. O tempo de resolução da amostragem foi definido de 1000ms. Também foi feito uma medição de desvio padrão de amostragens do arquivo, e em 5 amostragens diferentes, obteve-se um Desvio padrão agrupado de 0,3230(aproximado para 4 casas decimais).

TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Após o fim do ensaio em voo, o cartão SD foi removido e os dados brutos foram extraídos, se apresentando em um arquivo txt em colunas, contendo latitude, longitude, tempo e velocidade.

FIGURA 3. Tabela que mostra valores de parâmetro em decorrer do tempo de acionamento do Arduino.

	Latitude	Longitude	Velocidade(km/h)	Tempo(s)
1				
2	-217.787399	-481.909973	2.59	53
3	-217.787445	-481.909912	0.24	54
4	-217.787445	-481.909973	0.39	55
5	-217.787445	-481.909912	0.74	56
6	-217.787475	-481.909973	0.96	57
7	-217.787475	-481.909973	1.06	58
8	-217.787521	-481.910003	1.20	59
9	-217.787567	-481.910034	1.20	60
10	-217.787597	-481.910095	1.28	61
11	-217.787597	-481.910095	1.44	62
12	-217.787597	-481.910095	1.65	63
13	-217.787597	-481.910095	1.78	64
14	-217.787597	-481.910125	1.72	65
15	-217.787597	-481.910125	1.54	66
16	-217.787597	-481.910125	1.52	67
17	-217.787584	-481.910125	1.52	68
18	-217.787567	-481.910156	1.57	69
19	-217.787567	-481.910156	1.76	70
20	-217.787597	-481.910125	1.22	71
21	-217.787612	-481.910095	0.61	72
22	-217.787612	-481.910034	0.54	73
23	-217.787597	-481.910003	0.56	74
24	-217.787582	-481.910003	0.28	75
25	-217.787567	-481.909973	0.19	76
26	-217.787567	-481.909973	0.15	77
27	-217.787521	-481.909912	0.06	78
28	-217.787521	-481.909912	0.04	79
29	-217.787506	-481.909912	0.02	80
30	-217.787475	-481.909881	0.02	81
31	-217.787460	-481.909881	0.02	82
32	-217.787475	-481.909881	0.04	83
33	-217.787475	-481.909790	0.02	84
34	-217.787475	-481.909790	0.06	85

Fonte: Próprio autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

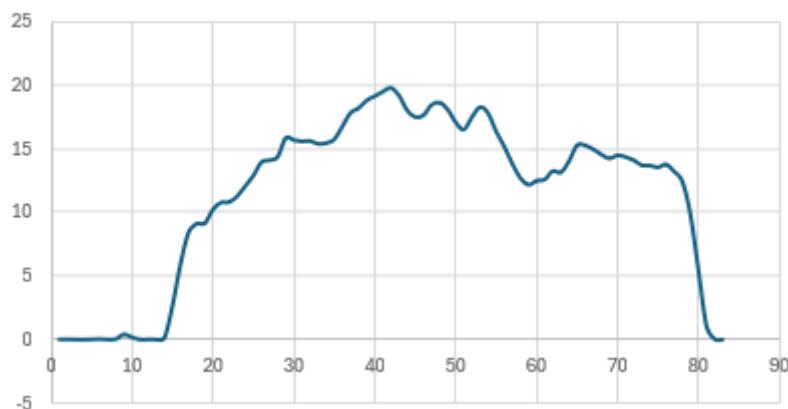
Os dados brutos registrados no cartão SD foram processados para isolar o período de voo, desconsiderando os momentos de pré-decolagem e pós-pouso onde a velocidade era nula ou desprezível. Os dados filtrados de velocidade em função do tempo foram compilados e são apresentados em um gráfico Velocidade x Tempo.

O perfil de voo demonstra claramente as fases de decolagem (rápida aceleração), cruzeiro (com flutuações de velocidade) e pouso (desaceleração acentuada). A análise dos dados revela que a aeronave atingiu uma velocidade máxima de 71,10 km/h, registrada no instante de amostragem 2264. Convertendo este valor para o Sistema Internacional, obtém-se 19,75 m/s. Utilizando a relação de Velocidade de Cruzeiro de acordo com Rodrigues (2014):

$$V_c = 0,9V_{máx} = 17,78 \text{ m/s}$$

FIGURA 4. Gráfico Velocidade(m/s) x Tempo(s)

Gráfico m/s x tempo



Fonte: próprio autor.

A velocidade de cruzeiro teórica estabelecida pelas equipes de Aerodinâmica, Cargas e Aeroelasticidade durante a fase de projeto da aeronave, tem o valor de 21,76 m/s, o que possui uma diferença percentual alta, mas pode ser justificada pelo fator da aeronave não estar com a potência limitada nos 680W, que é regra do regulamento da “SAE Brasil Aerodesign 2024”.

A equipe de aerodinâmica forneceu como input de projeto um valor teórico para a velocidade de 7,42 m/s. Os dados de Latitude e Longitude podem ser utilizados para determinar a velocidade de outra forma a fim de comparação pela fórmula de Haversine, porém não foi realizado esta análise.

Ao analisar os dados experimentais da decolagem, observa-se que o sistema registrou uma velocidade média em relação a 8 amostragens durante o período de decolagem, em que foi analisado em relação ao vídeo gravado no dia do teste de 8,01m/s. Este valor corresponde ao momento em que a aeronave adquire sustentação suficiente para decolar, estando diretamente relacionado à fórmula de velocidade mencionada anteriormente.

A comparação entre o valor teórico e o valor experimental obtido tanto para velocidade de cruzeiro e velocidade de estol é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Comparaçao de valores teóricos e experimentais com diferença percentual

Parâmetro	Valor Teórico	Valor Experimental	Diferença Percentual
v (m/s)	7,42	8,01	7,95%
V_c (m/s)	21,76	17,78	18,29%

Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e a validação de um sistema de aquisição de baixo custo para uma aeronave da competição SAE Aerodesign. Pode-se concluir que o objetivo foi alcançado, uma vez que a hipótese inicial de que seria possível validar parâmetros de voo com componentes acessíveis, como um Arduino e um módulo GPS, foi confirmada pelos resultados experimentais.

A análise dos dados demonstrou uma boa acuracidade do sistema. A diferença percentual de apenas 7,95% entre a velocidade teórica (7,42 m/s) e a experimental (8,01 m/s) validou tanto a metodologia de cálculo do projeto quanto a precisão do sistema de medição. A velocidade máxima registrada de 19,75 m/s, em que usado 90% desse valor (17,78 m/s), ficou 18,29% abaixo do valor teórico de cruzeiro de 21,6 m/s, sendo necessária a verificação futura desses dados tanto teórico quanto experimental, embora seja levado em consideração da não limitação de potência algo significativo para a diferença apresentada.

Durante a pesquisa, foram superadas dificuldades na montagem do software, que exigiu a correta integração de múltiplas bibliotecas para a leitura do GPS e o armazenamento de dados, bem como na combinação dos componentes de hardware para garantir a compatibilidade do sistema. No campo da engenharia de software, o projeto significou uma aplicação prática de sistemas embarcados, onde o código foi a ferramenta central para a aquisição, tratamento e armazenamento de dados, servindo como ponte para a validação de modelos físicos de outra disciplina de engenharia.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a limitação de potência de acordo com o regulamento, o acoplamento de um tubo de Pitot ao sistema. A medição da velocidade em relação ao ar, somada à velocidade em relação ao solo já obtida pelo GPS, permitiria a obtenção de parâmetros mais avançados, como a influência do vento no desempenho da aeronave, enriquecendo significativamente as análises aerodinâmicas. Além disso se recomenda a implementação de uma placa de circuito impresso para que o sistema fique mais leve e robusto.

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS

GUZZO, Raphael Gavioli; SILVA, Victor Rafael Ribeiro. **Cargas e Aeroelasticidade**. 2024. Relatório (Projeto SAE Brasil Aerodesign 2024) – IFSP - Campus Araraquara, Araraquara, 2024.

MOTTER, Vinicius. **Utilização de GPS no desenvolvimento de pesquisas de origem e destino**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA AERONÁUTICA COM APLICAÇÕES AO PROJETO SAE-AERODESIGN: AERODINÂMICA E DESEMPENHO**. 1. ed. Salto: Edição do Autor, 2014.

GUDMUNDSSON, Snorri. General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures. 2. ed. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2022.

BUS SAB, Wilton de O.; MORETTIN, Pedro A. Estatística Básica. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.