

Instrumentação de um veículo aéreo não tripulado para validação de seu projeto

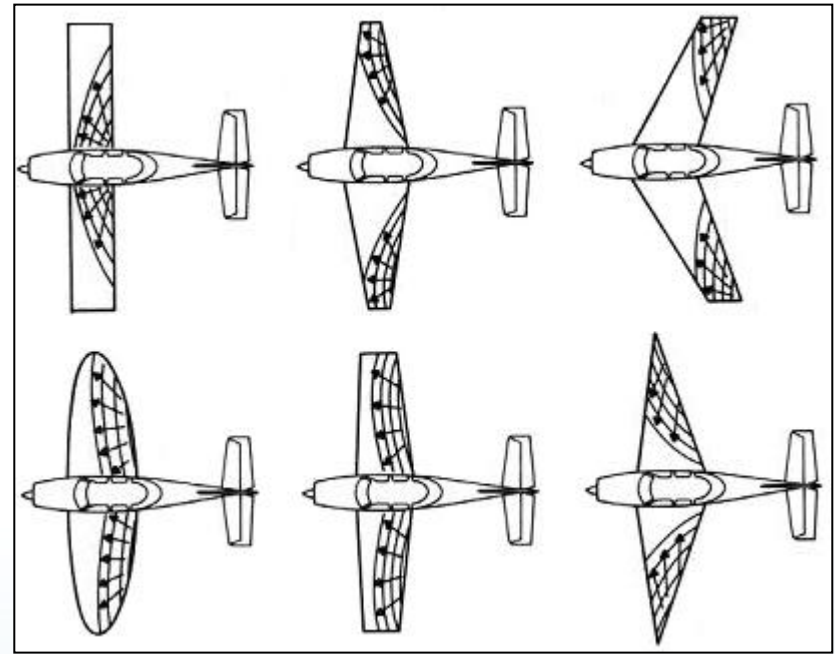
Autor: Túlio Dapper e Silva

Orientador: Edison Pignaton de Freitas

Introdução



Projeto é desafiador.



Introdução



Projeto é desafiador.




Testes em voo são essenciais.



KC-390:
1200 horas.
(G1, 2017)

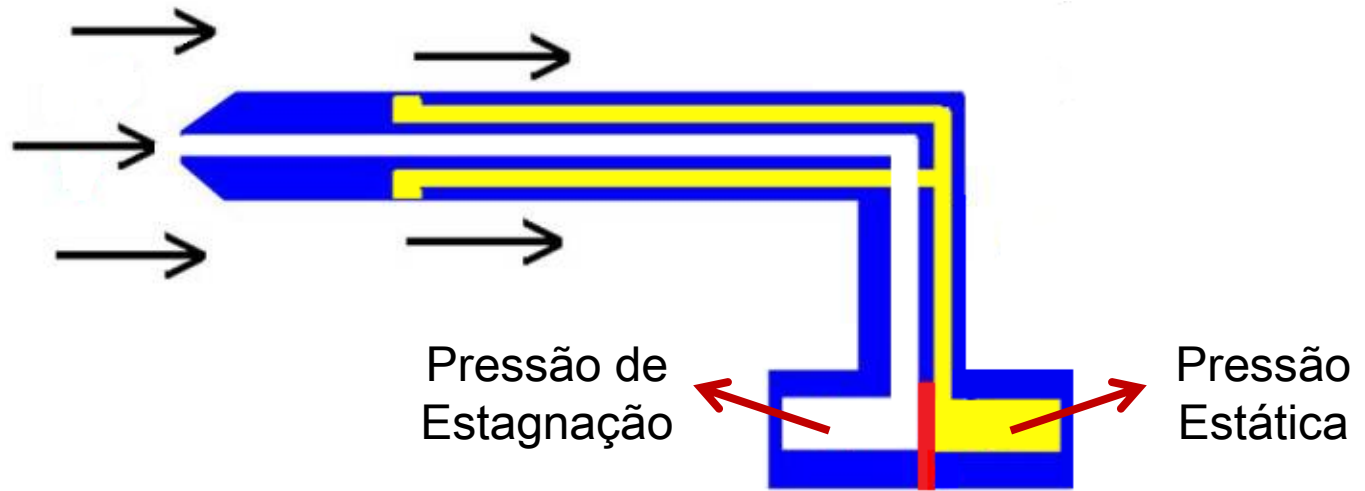


Objetivo

- Sensoriamento de VANT para competição SAE BRASIL AeroDesign
 - Velocidade em relação ao ar
 - Orientação
 - Altitude
 - Corrente drenada pelo sistema elétrico
- 
- PERFORMANCE
DE VOO

- Revisão Bibliográfica
- Requisitos do Projeto
- Desenvolvimento
 - Componentes
 - Placa de Aquisição de Dados
 - Interfaces com o Usuário
- Apresentação e Discussão dos Resultados
- Conclusões
- Trabalhos Futuros

- **Revisão Bibliográfica**
- Requisitos do Projeto
- Desenvolvimento
 - Componentes
 - Placa de Aquisição de Dados
 - Interfaces com o Usuário
- Apresentação e Discussão dos Resultados
- Conclusões
- Trabalhos Futuros



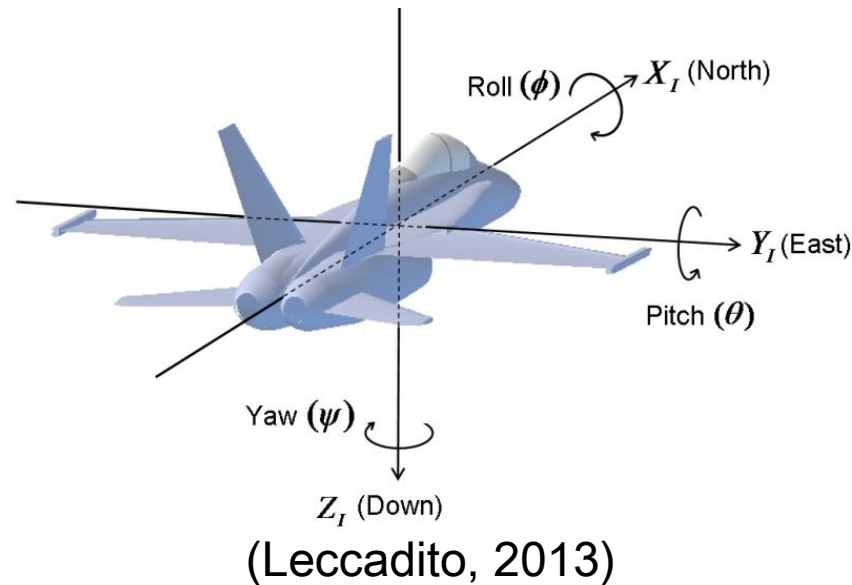
(Hall, 2017)

Escoamentos incompressíveis:

$$\text{Velocidade do Ar} = \sqrt{\frac{2 * \text{Pressão Dinâmica}}{\text{Densidade do Ar}}}$$

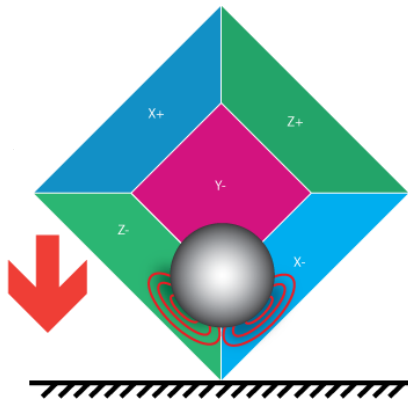
(Schneider, 2000)

- Representação
 - Ângulos de Euler, Quaterniões e Matriz Rotacional
- Ângulos de Euler



- Quais sensores podem ser utilizados?

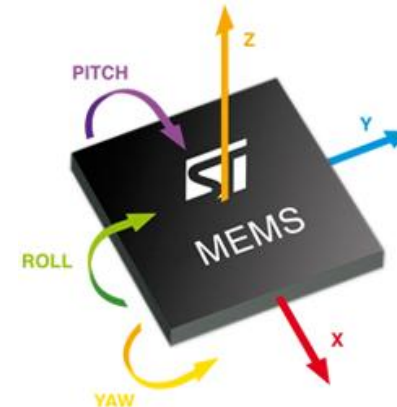
Acelerômetro



(Leccadito, 2013)

↓ Forças externas

Giroscópio



(Elettronica Open Source, 2011)



↓ Integração discreta

- Fusão de Dados
 - Combinação das vantagens de cada sensor
 - Filtro de Kalman e Filtro Complementar
- Filtro Complementar
 - Acelerômetro:
 - Atenuar as vibrações
 - Giroscópio
 - Eliminar o erro acumulado

Ganho  Combinação

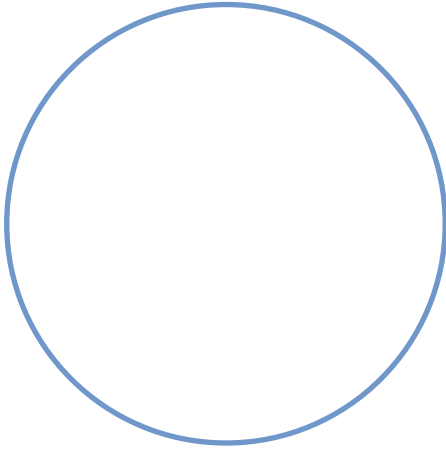
- Revisão Bibliográfica
- Requisitos do Projeto
- Desenvolvimento
 - Componentes
 - Placa de Aquisição de Dados
 - Interfaces com o Usuário
- Apresentação e Discussão dos Resultados
- Conclusões
- Trabalhos Futuros

Requisitos do Projeto

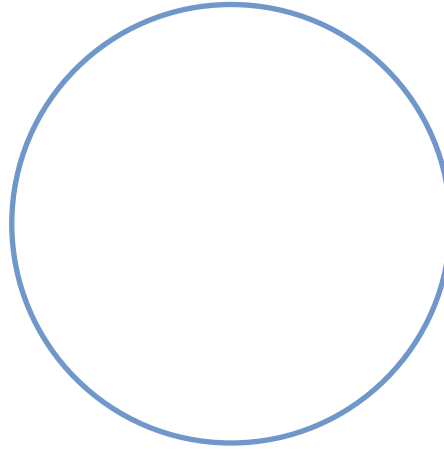
Velocidade em Relação ao Ar	Orientação
<ul style="list-style-type: none">▪ Mínimo: 10m/s. ▪ Máximo: 20m/s. ▪ Erro máximo admissível: 0,5m/s.	<ul style="list-style-type: none">▪ Período de amostragem máximo: 70ms.▪ Erro máximo admissível: 1°.
Altitude	Corrente Elétrica
<ul style="list-style-type: none">▪ Erro máximo admissível: 0,5m.	<ul style="list-style-type: none">▪ Erro máximo admissível: 50mA.

- Revisão Bibliográfica
- Requisitos do Projeto
- **Desenvolvimento**
 - Componentes
 - Placa de Aquisição de Dados
 - Interfaces com o Usuário
- Apresentação e Discussão dos Resultados
- Conclusões
- Trabalhos Futuros

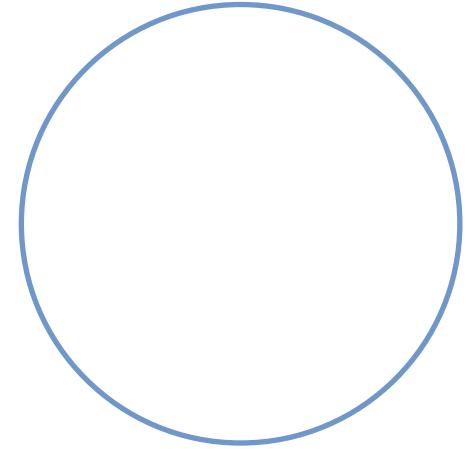
Processamento



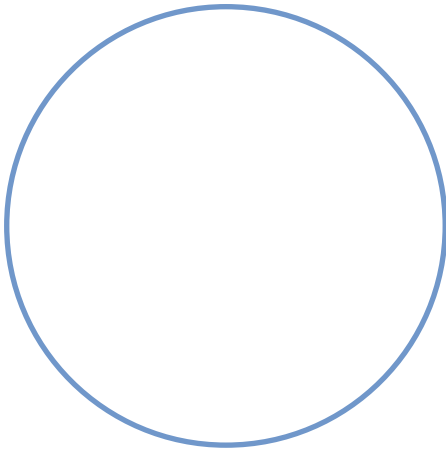
Velocidade do Ar



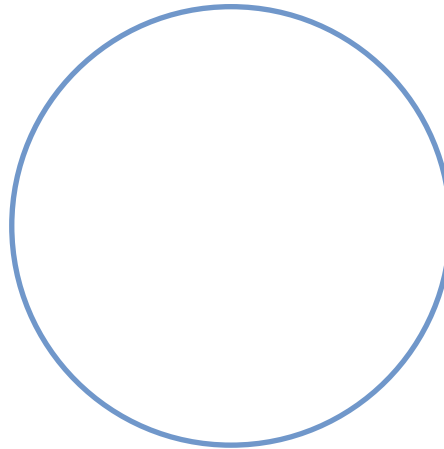
Orientação e Altitude



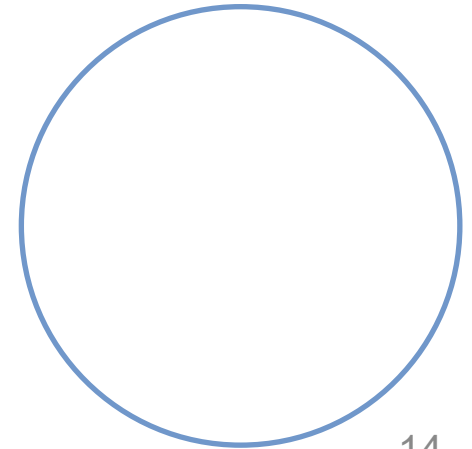
Corrente Elétrica



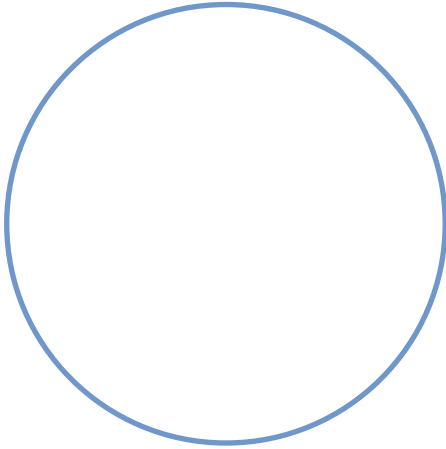
Gravação dos dados
em cartão SD



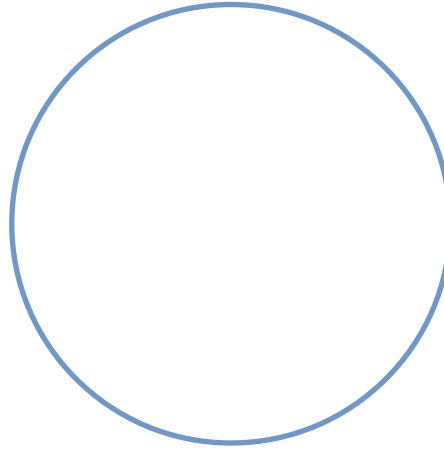
Telemetria



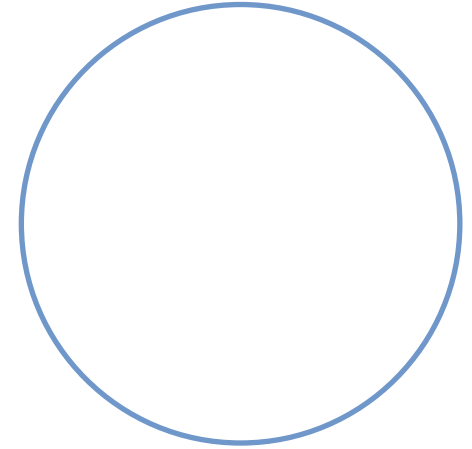
Processamento



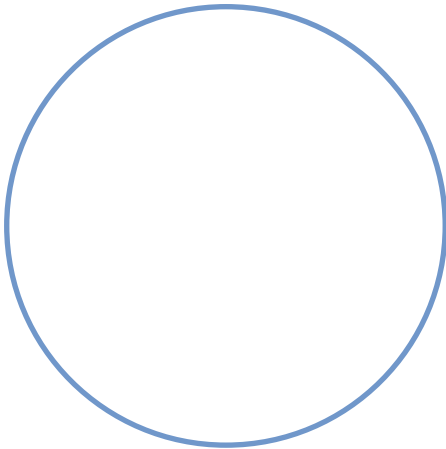
Velocidade do Ar



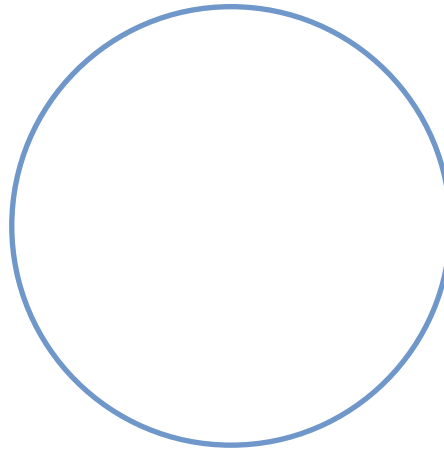
Orientação e Altitude



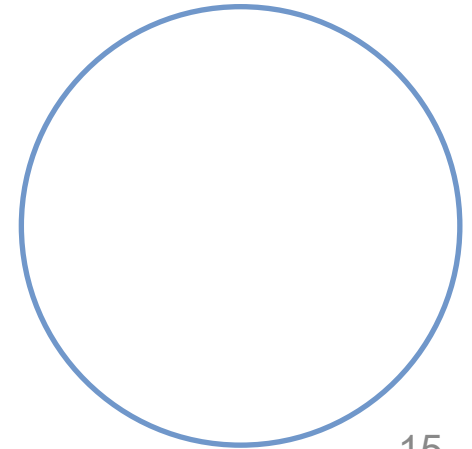
Corrente Elétrica



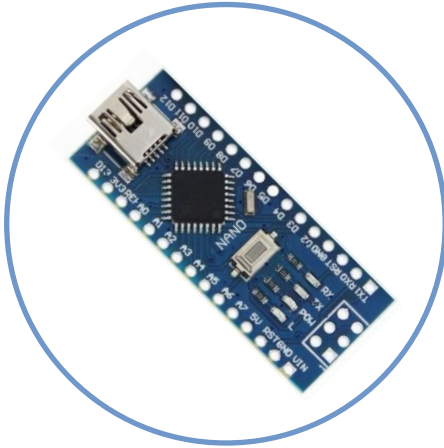
Gravação dos dados
em cartão SD



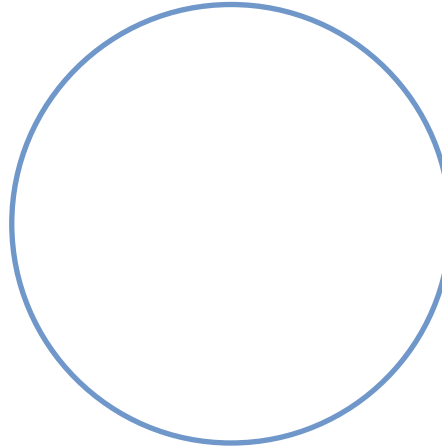
Telemetria



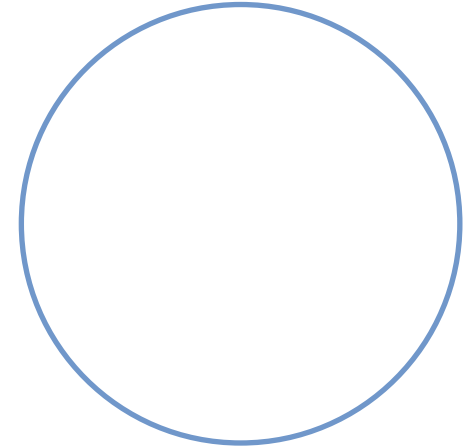
Processamento



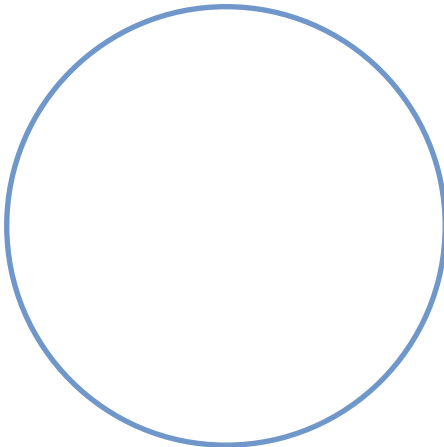
Velocidade do Ar



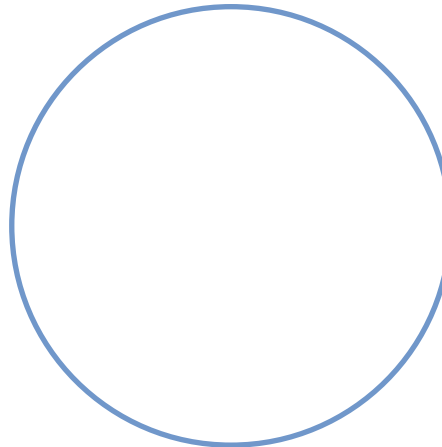
Orientação e Altitude



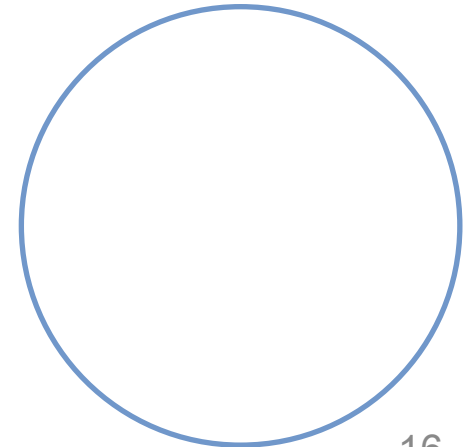
Corrente Elétrica



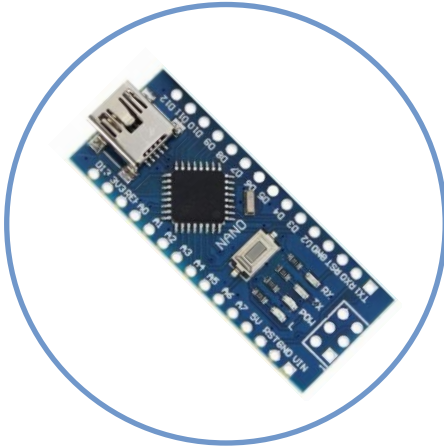
Gravação dos dados
em cartão SD



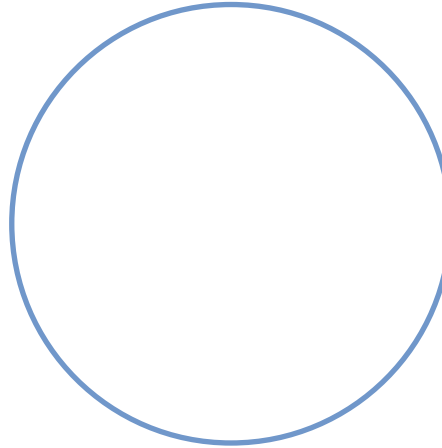
Telemetria



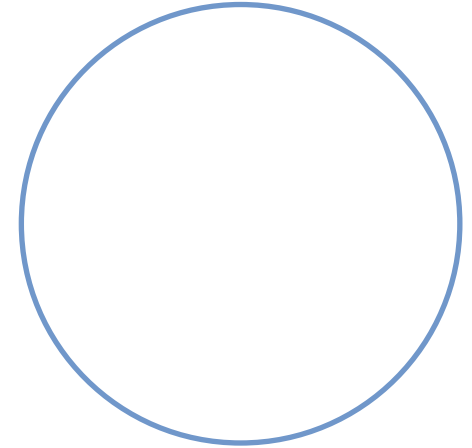
Processamento



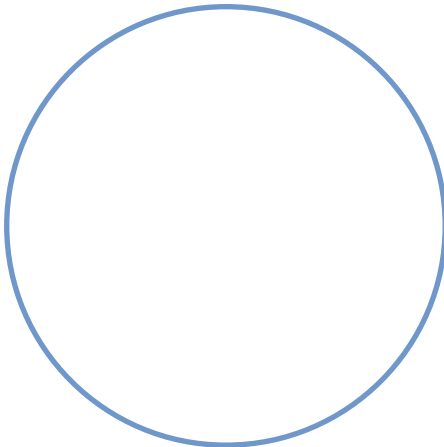
Velocidade do Ar



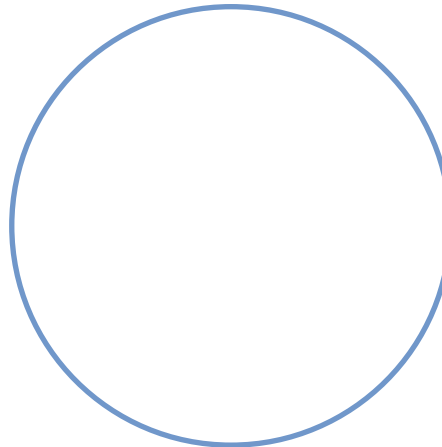
Orientação e Altitude



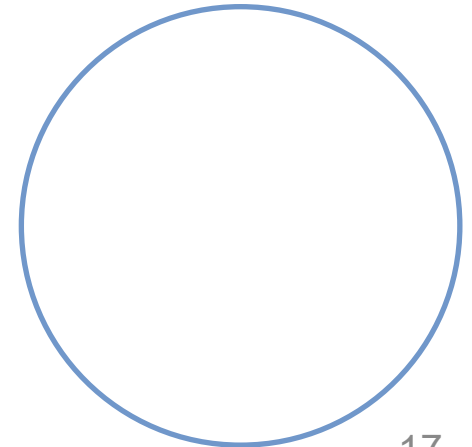
Corrente Elétrica



Gravação dos dados
em cartão SD

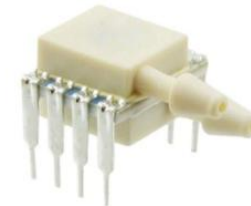


Telemetria

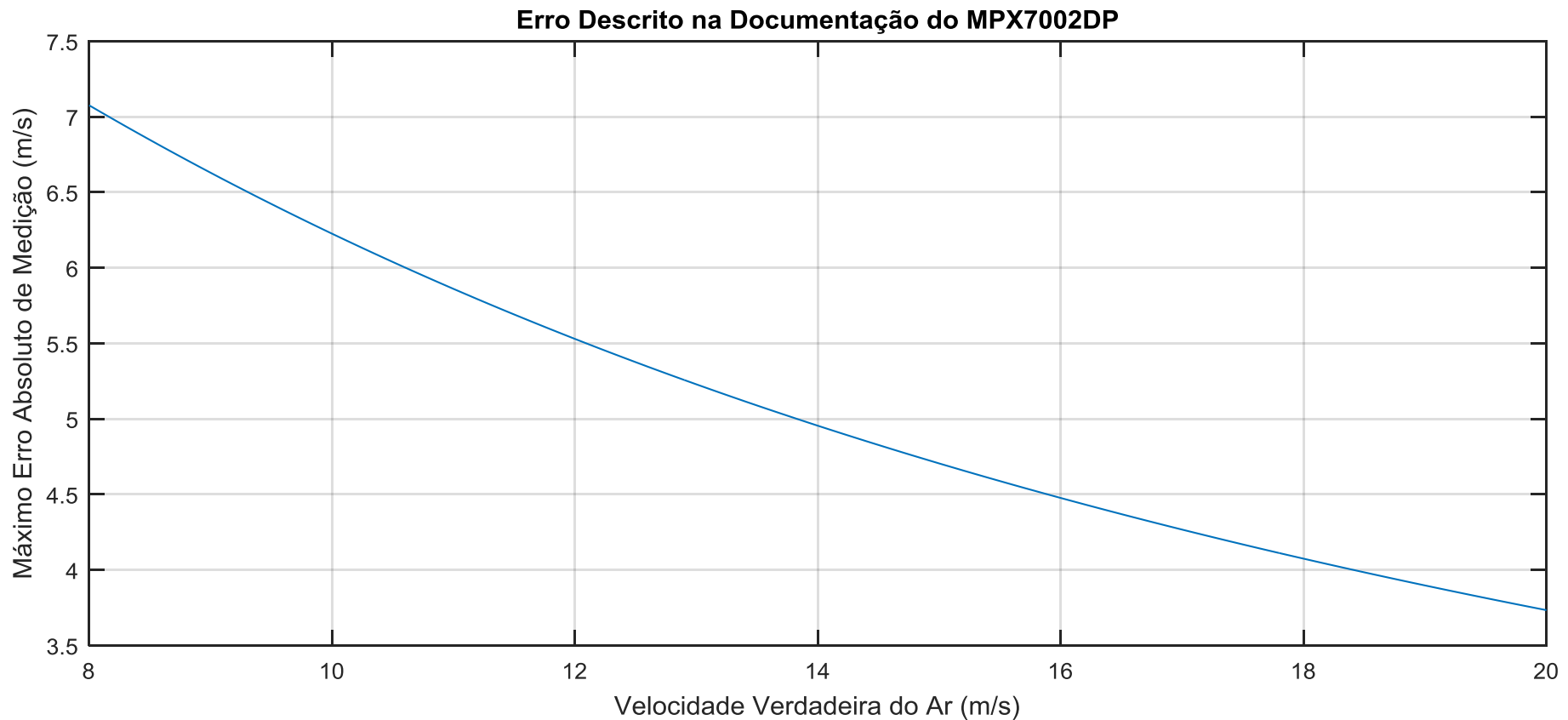


Sensor de Pressão Diferencial

- Falta de interesse: 0 a 250Pa
- MPX7002DP
 - -2kPa a 2kPa
 - Analógico
 - **Baixo custo**
- MS4525DO-DS3BK002DPL
 - 0 a 500Pa
 - Digital: Comunicação I2C

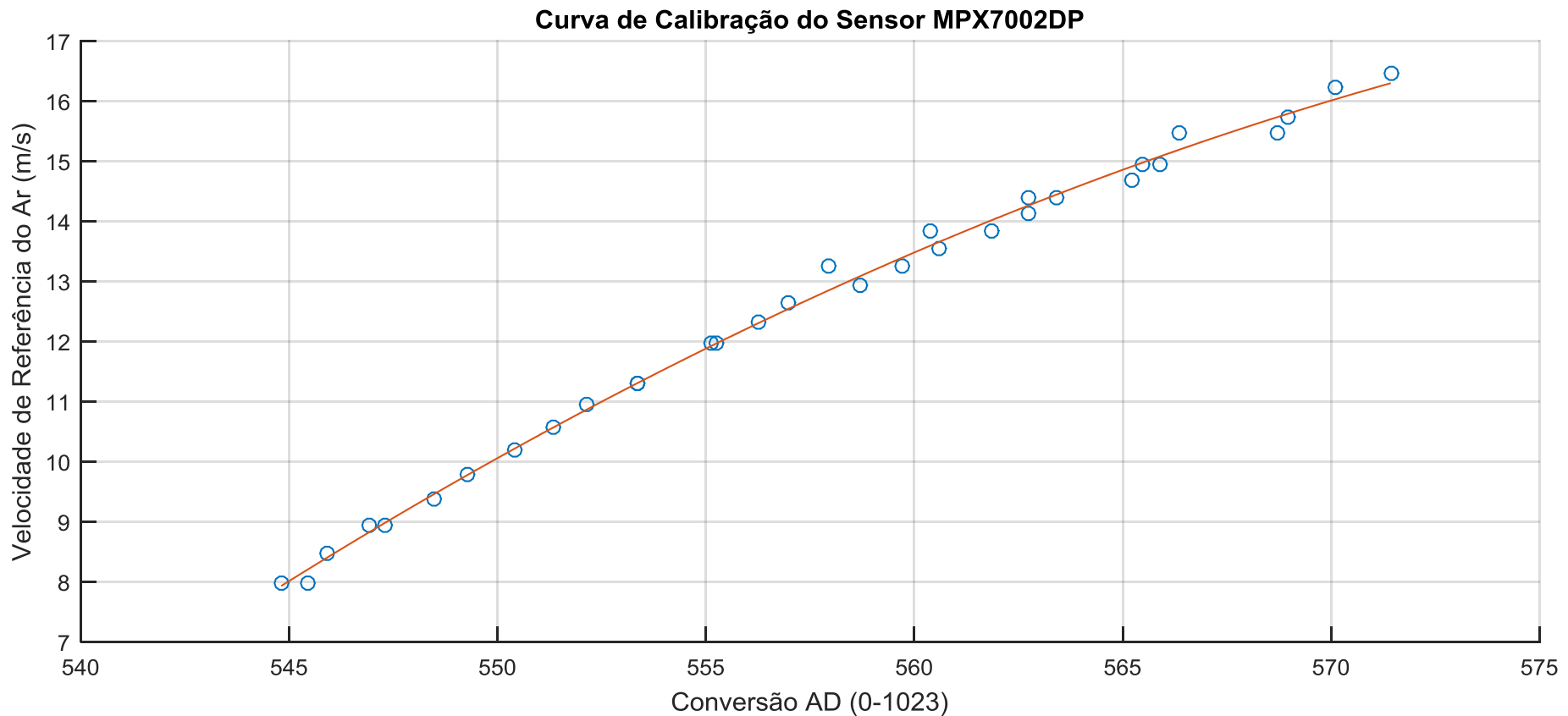


Sensor de Pressão Diferencial: MPX7002DP



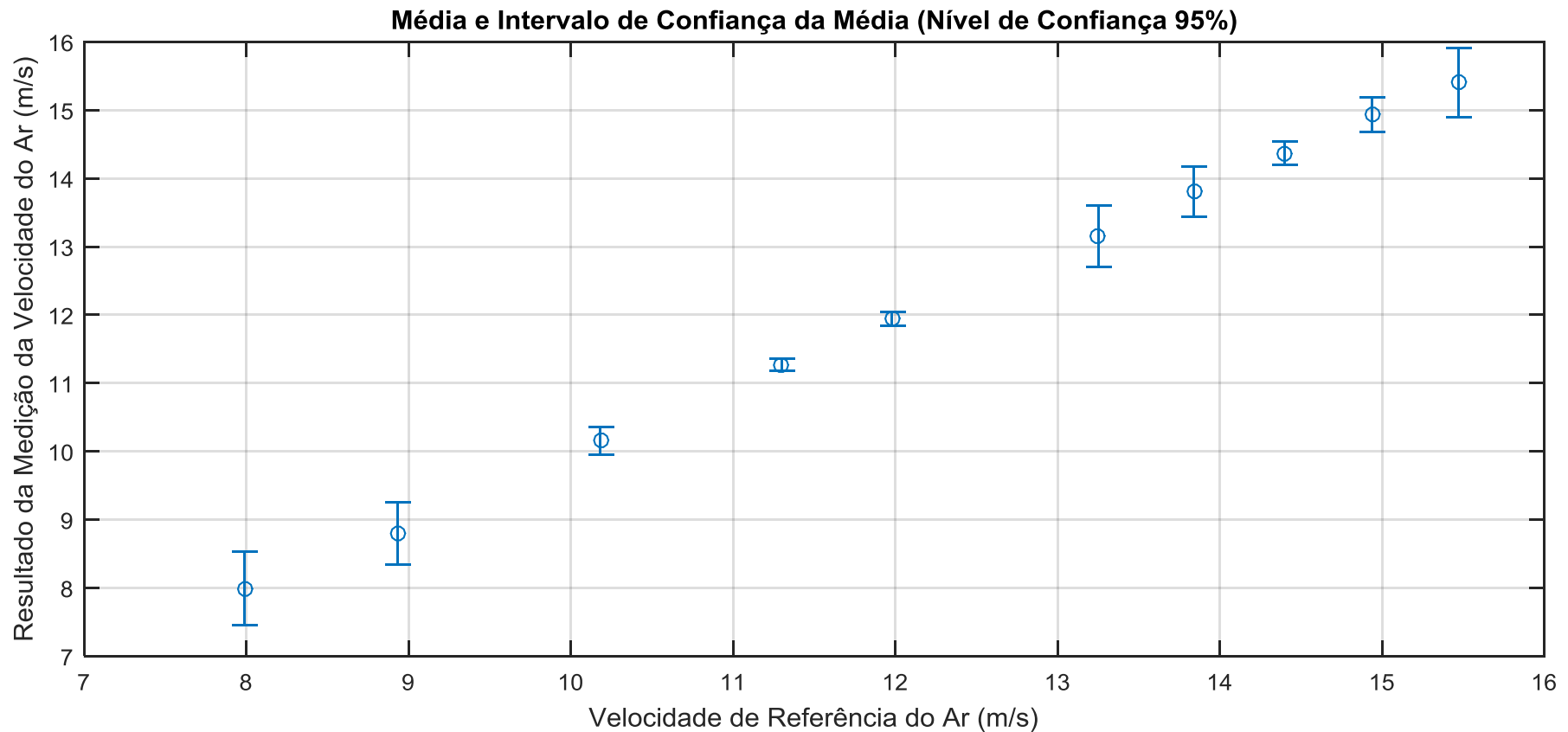
- Por que insistir?

Sensor de Pressão Diferencial: MPX7002DP



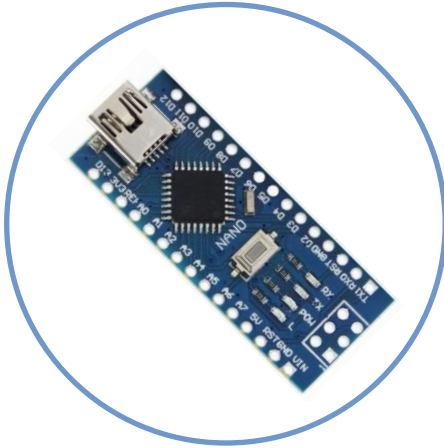
- Precisamos validar...

Sensor de Pressão Diferencial: MPX7002DP

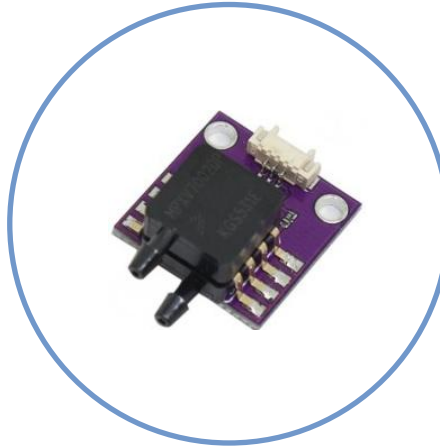


✓ Faixa de trabalho: 8 a 15,5m/s.

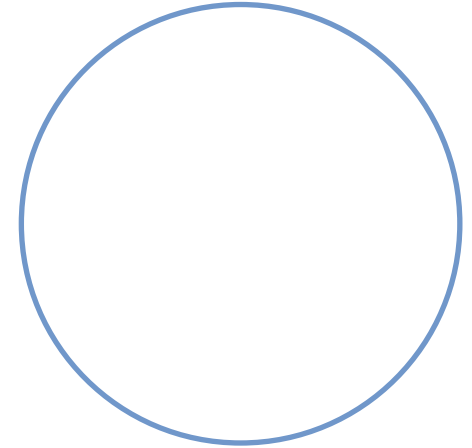
Processamento



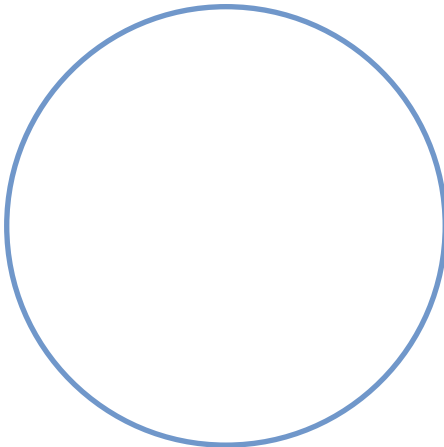
Velocidade do Ar



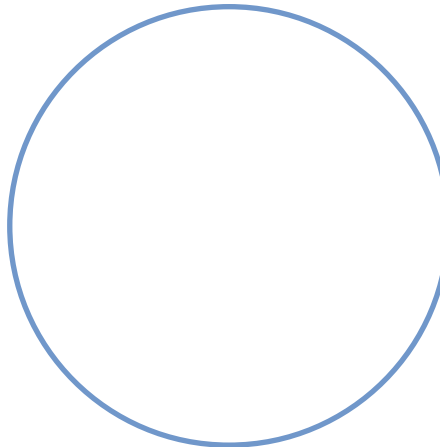
Orientação e Altitude



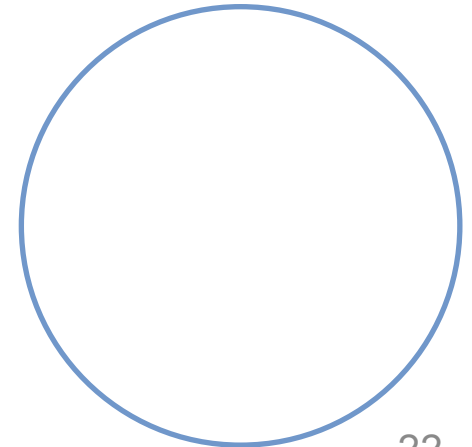
Corrente Elétrica



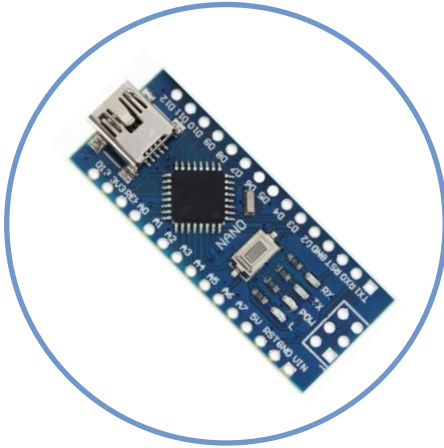
Gravação dos dados
em cartão SD



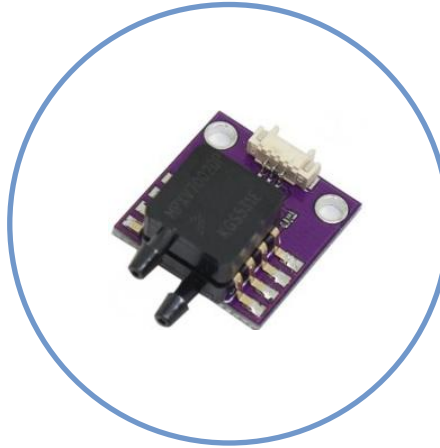
Telemetria



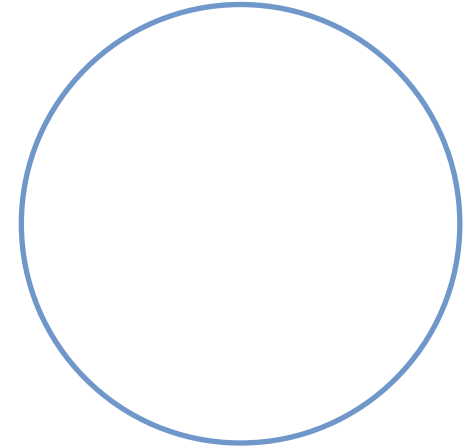
Processamento



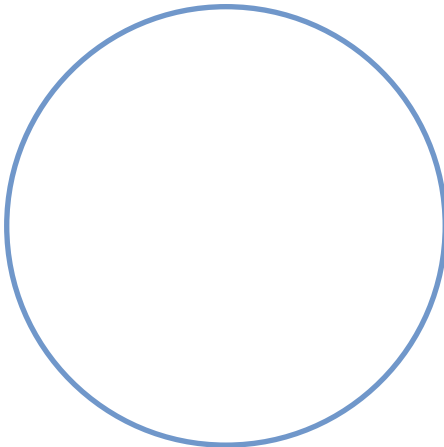
Velocidade do Ar



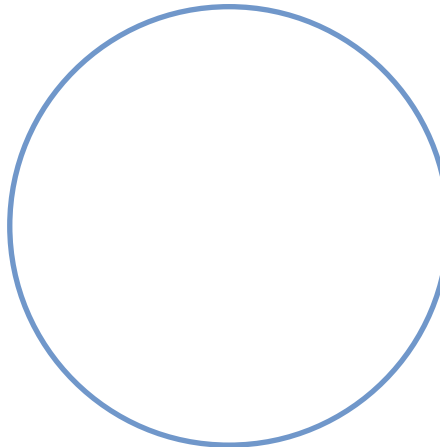
Orientação e Altitude



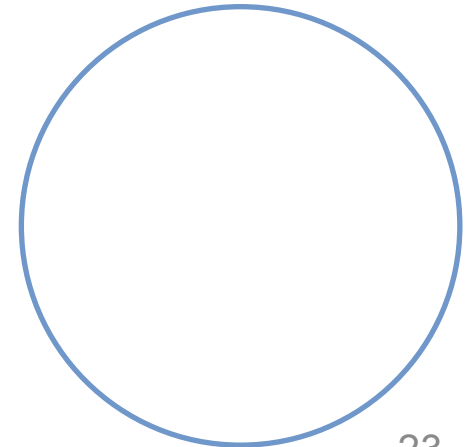
Corrente Elétrica



Gravação dos dados
em cartão SD

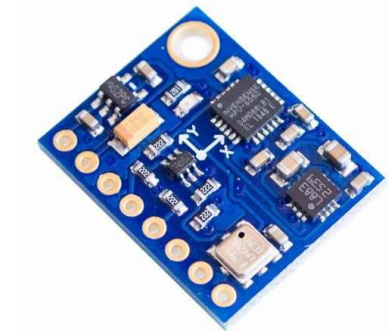


Telemetria

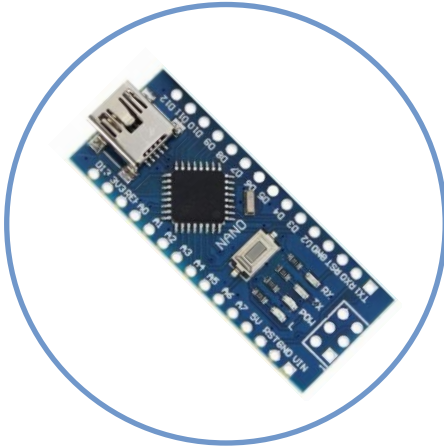


Acelerômetro, Giroscópio, Barômetro e Termômetro

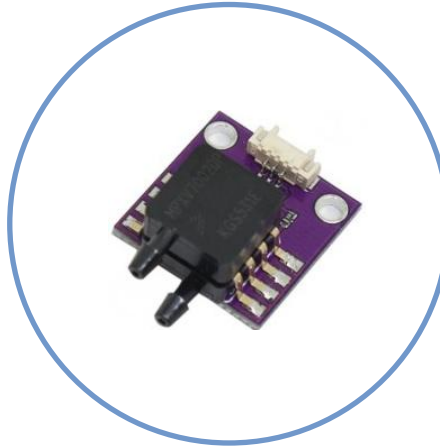
- GY-87
 - Digital: Comunicação I2C
 - MPU6050: Acelerômetro e Giroscópio
 - BMP180: **Barômetro** e Termômetro
- GY-80
- GY-91



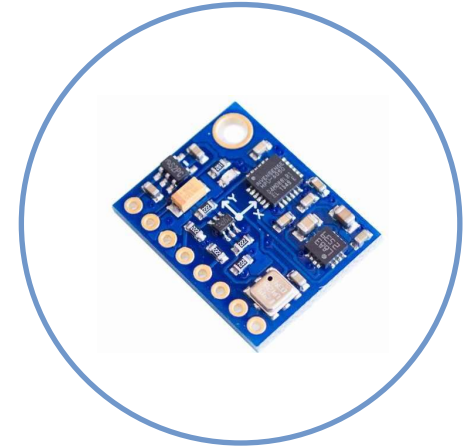
Processamento



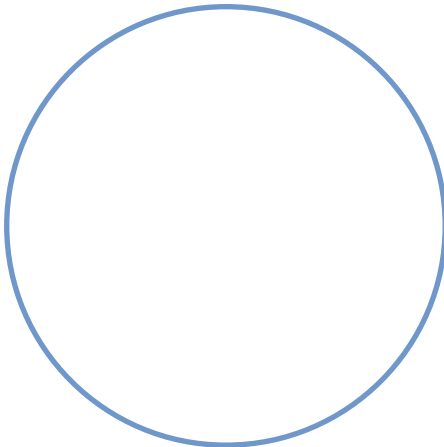
Velocidade do Ar



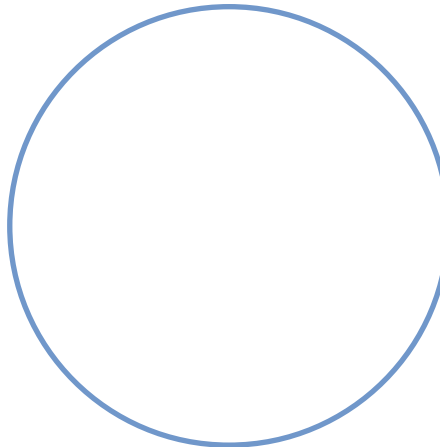
Orientação e Altitude



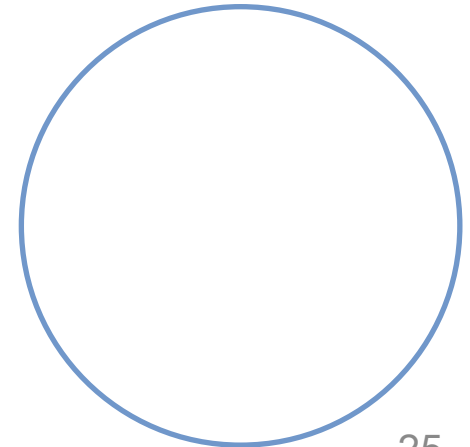
Corrente Elétrica



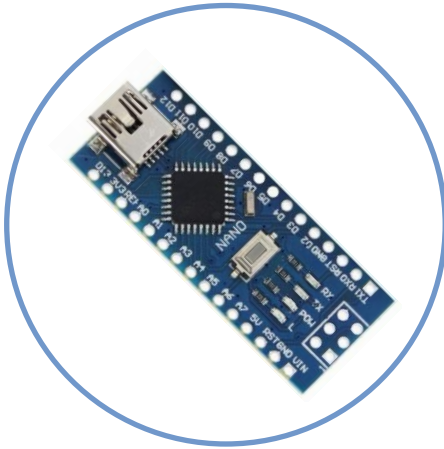
Gravação dos dados
em cartão SD



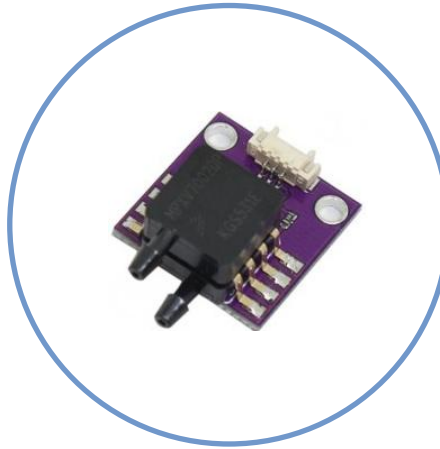
Telemetria



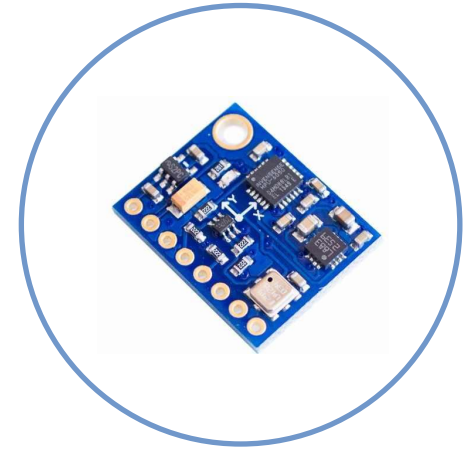
Processamento



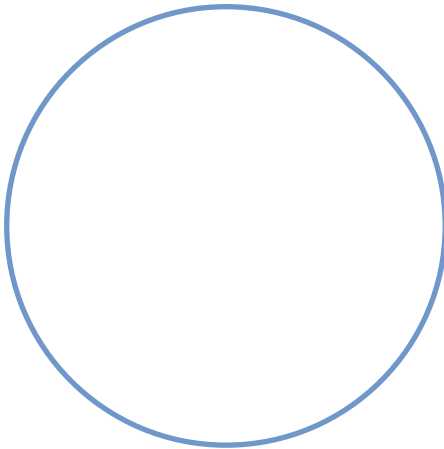
Velocidade do Ar



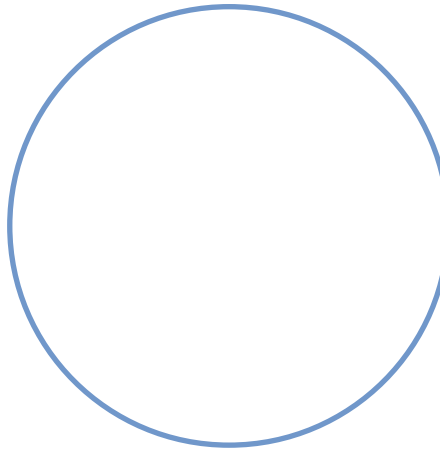
Orientação e Altitude



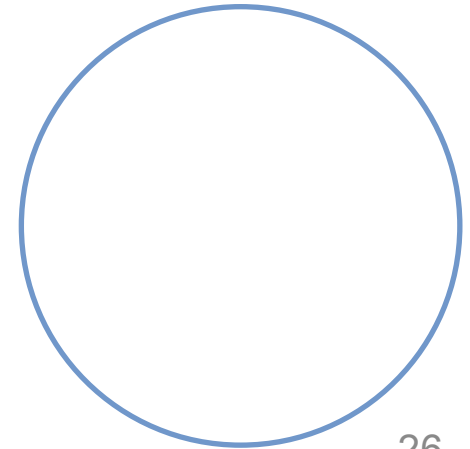
Corrente Elétrica



Gravação dos dados
em cartão SD



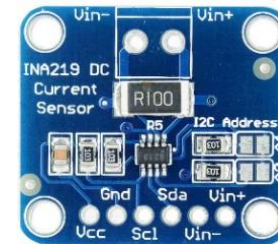
Telemetria



Sensor de Corrente Elétrica

✓ INA219 + R100

- Resistor *shunt*
- -3,2A a 3,2A
- Digital: Comunicação I2C
- **Calibrado**

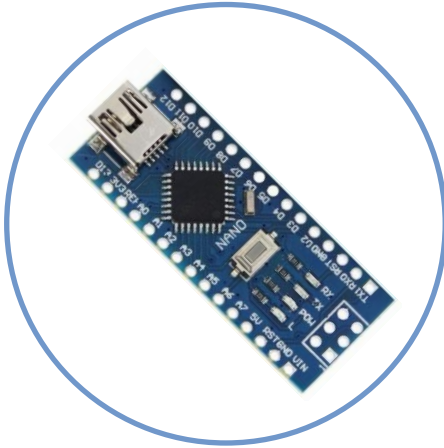


▪ ACS712

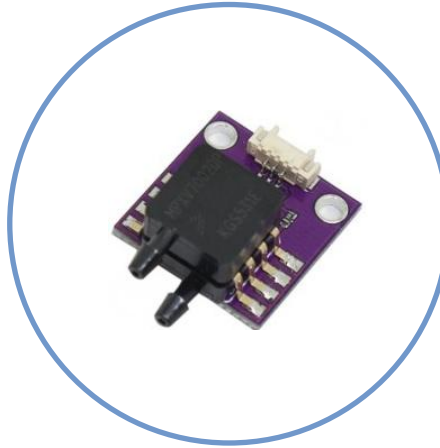
- Efeito Hall
- -5A a 5A
- Analógico
- Baixo custo



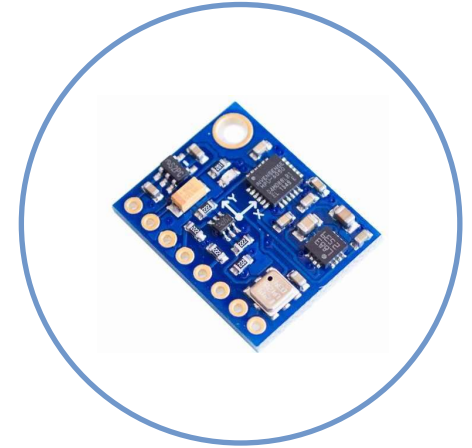
Processamento



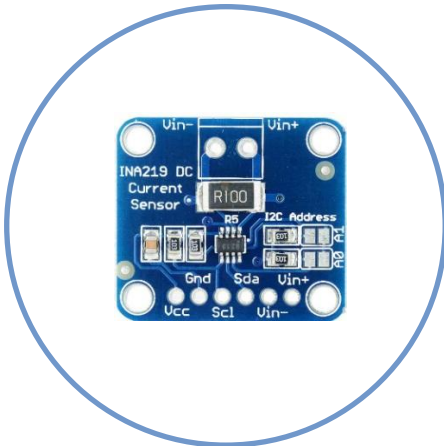
Velocidade do Ar



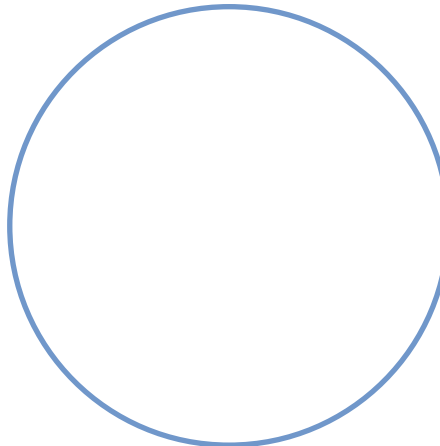
Orientação e Altitude



Corrente Elétrica



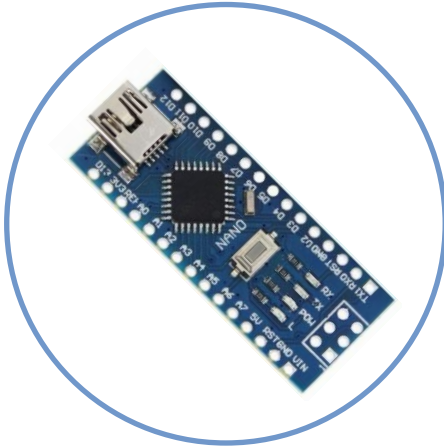
Gravação dos dados
em cartão SD



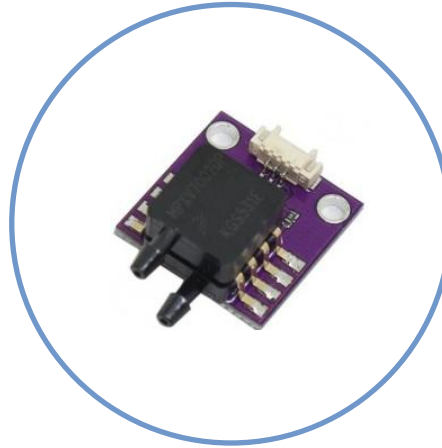
Telemetria



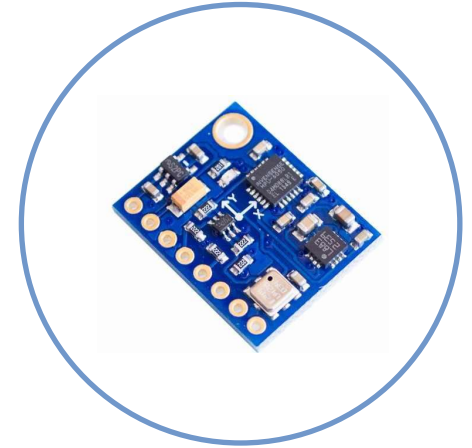
Processamento



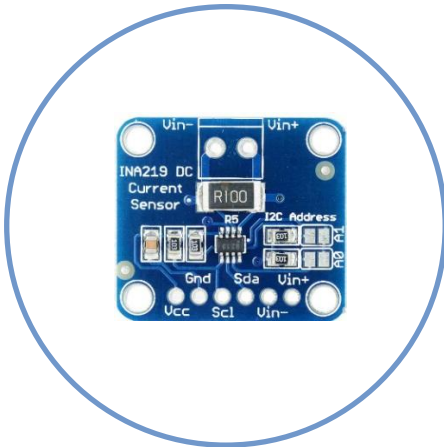
Velocidade do Ar



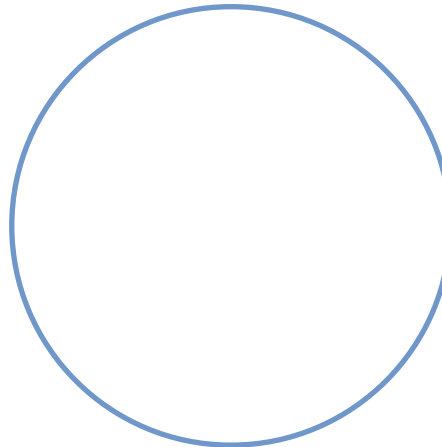
Orientação e Altitude



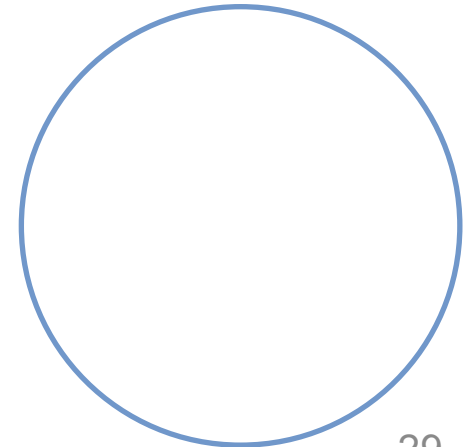
Corrente Elétrica



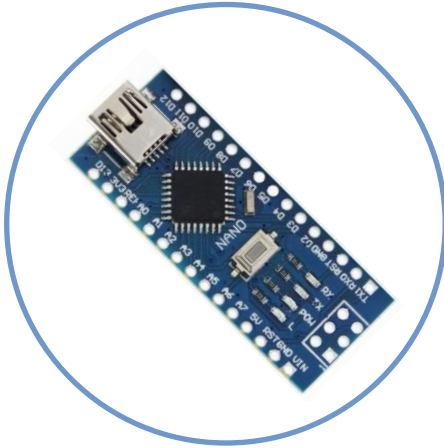
Gravação dos dados
em cartão SD



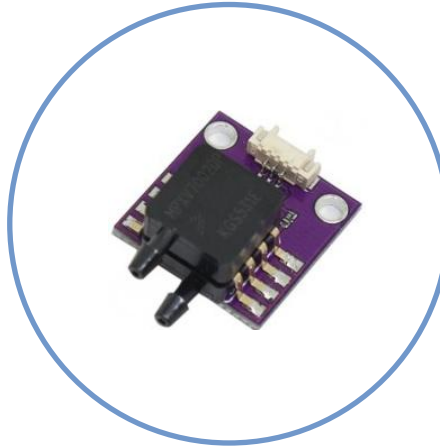
Telemetria



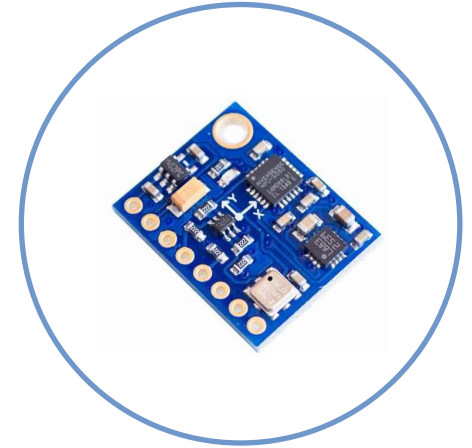
Processamento



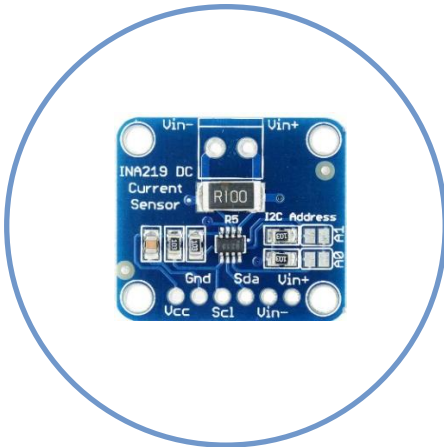
Velocidade do Ar



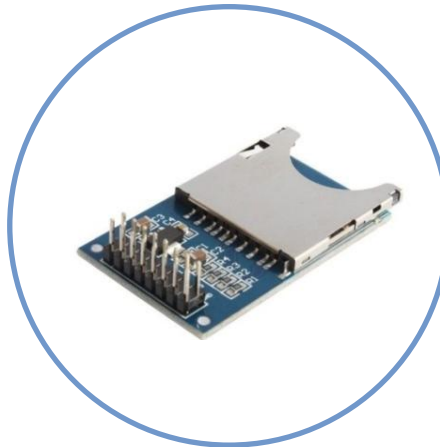
Orientação e Altitude



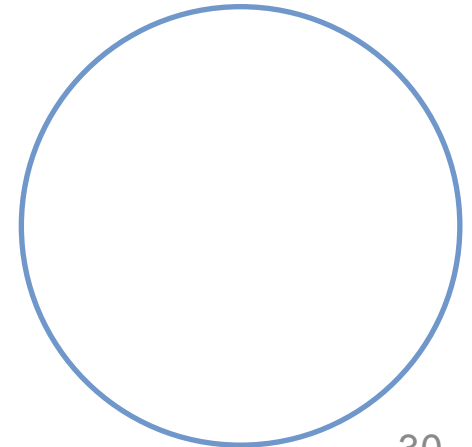
Corrente Elétrica



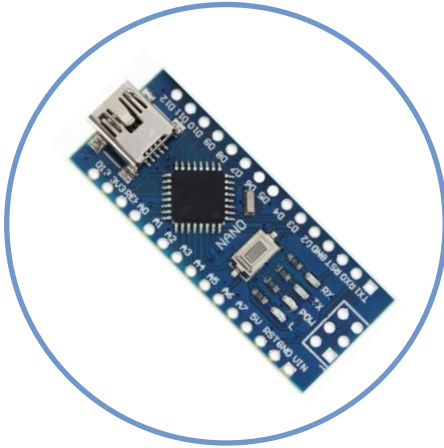
Gravação dos dados em cartão SD



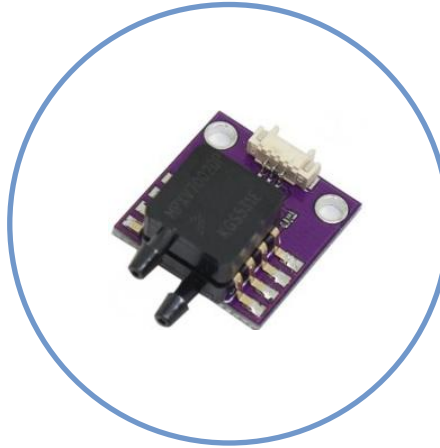
Telemetria



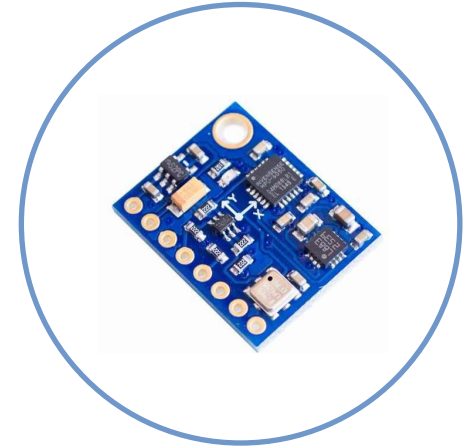
Processamento



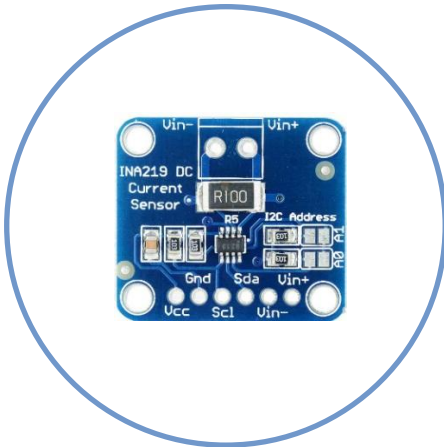
Velocidade do Ar



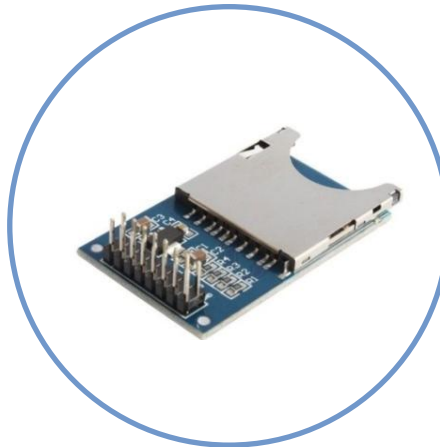
Orientação e Altitude



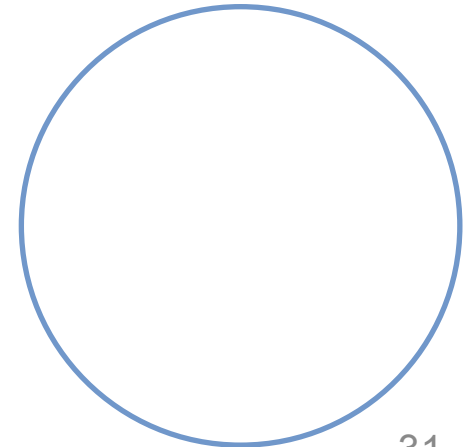
Corrente Elétrica



Gravação dos dados
em cartão SD



Telemetria



Telemetria

✓ 3DR

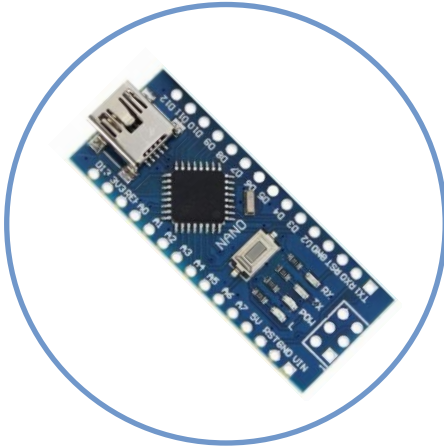
- *Firmware* de código aberto: SiK
- 433MHz ou 915MHz
- **Baixo custo**



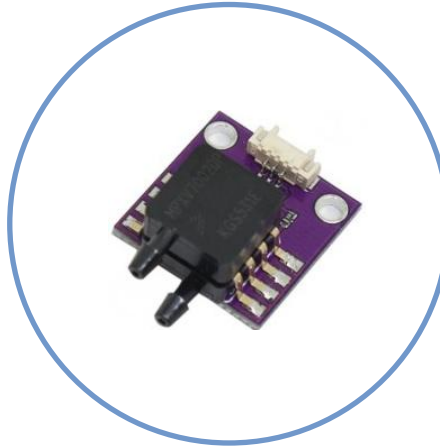
- XBee
 - Protocolo de comunicação: ZigBee
 - Frequência *ISM*



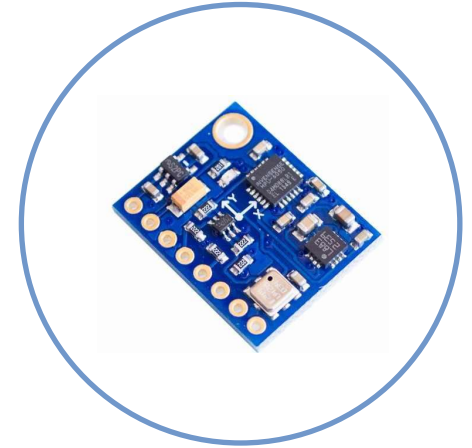
Processamento



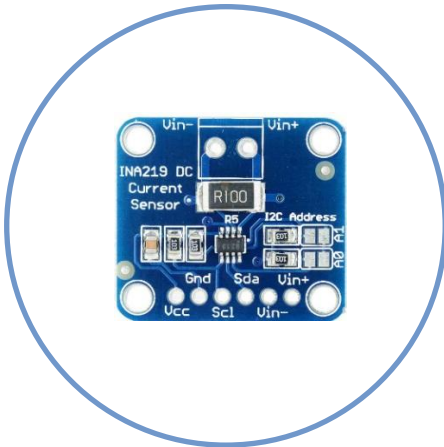
Velocidade do Ar



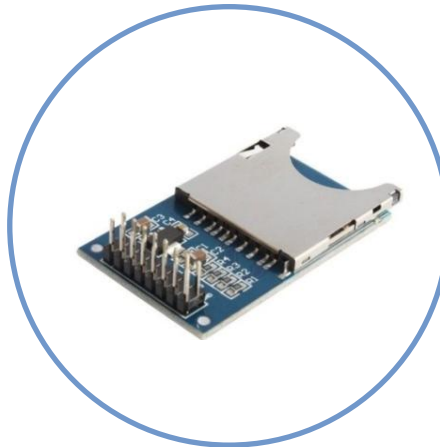
Orientação e Altitude



Corrente Elétrica

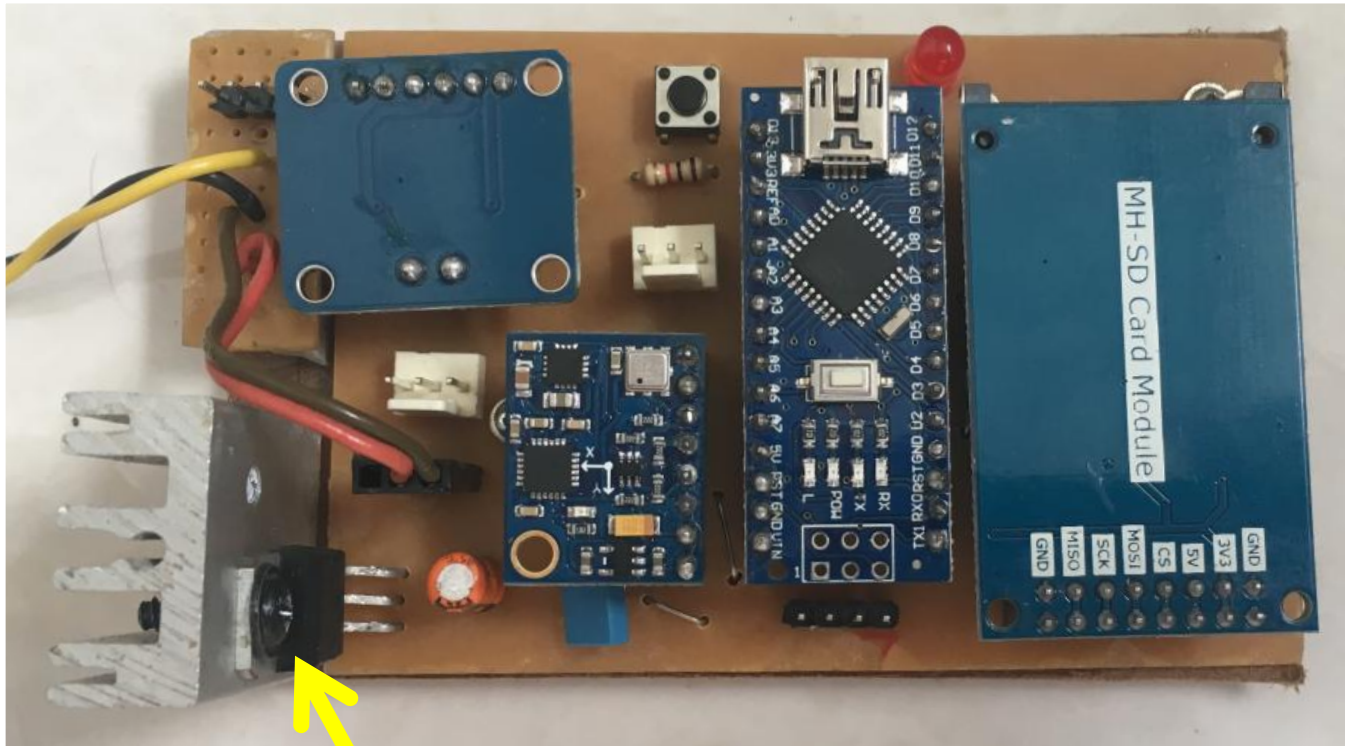


Gravação dos dados em cartão SD



Telemetria





Regulador de Tensão

Firmware

- Gravação dos dados em **arquivos partilhados**
- Cálculo da orientação +
Gravação em novo arquivo = **33ms**
- **1ª** Iteração: **aquisição** dos dados
- **2ª** Iteração: **gravação** e **envio** dos dados por telemetria
- **Período de gravação** = **66ms**

Telemetria

The screenshot displays the 'Telemetria' software interface, which is organized into three main sections: calibration, communication, and flight data.

CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE PRESSÃO DIFERENCIAL

This section contains input fields for calibration coefficients and control buttons. The values shown are -0.0054 , $x^2 +$, 6.3575 , $x +$, and -1850.4652 . The buttons are 'Resetar', 'Salvar', and 'Aplicar'.

COMUNICAÇÃO

This section shows the communication port settings. The 'Porta' is set to 'COM8', and there is a 'Desconectar' button.

DADOS DE VOO

This section displays various flight parameters and their corresponding graphical representations:

- Tempo:** 490 s
- Velocidade:** 14.2434 m/s. A horizontal slider below the value ranges from 0m/s to 15m/s.
- Corrente:** 147 mA
- Temperatura:** 27.1 °C
- Consumo:** 28 mAh. A horizontal slider below the value ranges from 0mAh to 1500mAh.
- Pressão:** 99290 Pa
- Roll:** 5.71 °. A horizontal slider below the value ranges from -90° to 90°.
- Altitude (Local):** 55.7085 m
- Pitch:** 10.65 °. A horizontal slider below the value ranges from -90° to 90°.
- Altitude (N. Mar):** 170.8177 m
- Densidade Ar:** 1.1526 g/m³

Análise dos Dados

The screenshot shows a software window titled "Análise do Voo" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The interface is organized into several sections:

- ARQUIVO**: Contains a text field with the path "C:\dados_voo_02" and a "Selecionar Pasta" button below it.
- CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE PRESSÃO DIFERENCIAL**: Features a mathematical equation $044658 x^2 + 5.2992 x + 13.6056$ displayed in three separate text boxes. To the right of the equation are "Resetar" and "Salvar" buttons. Below the equation is an "Aplicar" button.
- GRÁFICOS**: This section includes a table for time-based data and a grid of buttons for selecting different parameters to be graphed.

	Tempo (s)
Min.	410
Max.	430

Velocidade

Altitude

Pitch

Roll

Altitude Loc.

Pressao

Corrente

Temperatura

Densidade
- ANIMAÇÃO**: Contains a single "Iniciar" button.

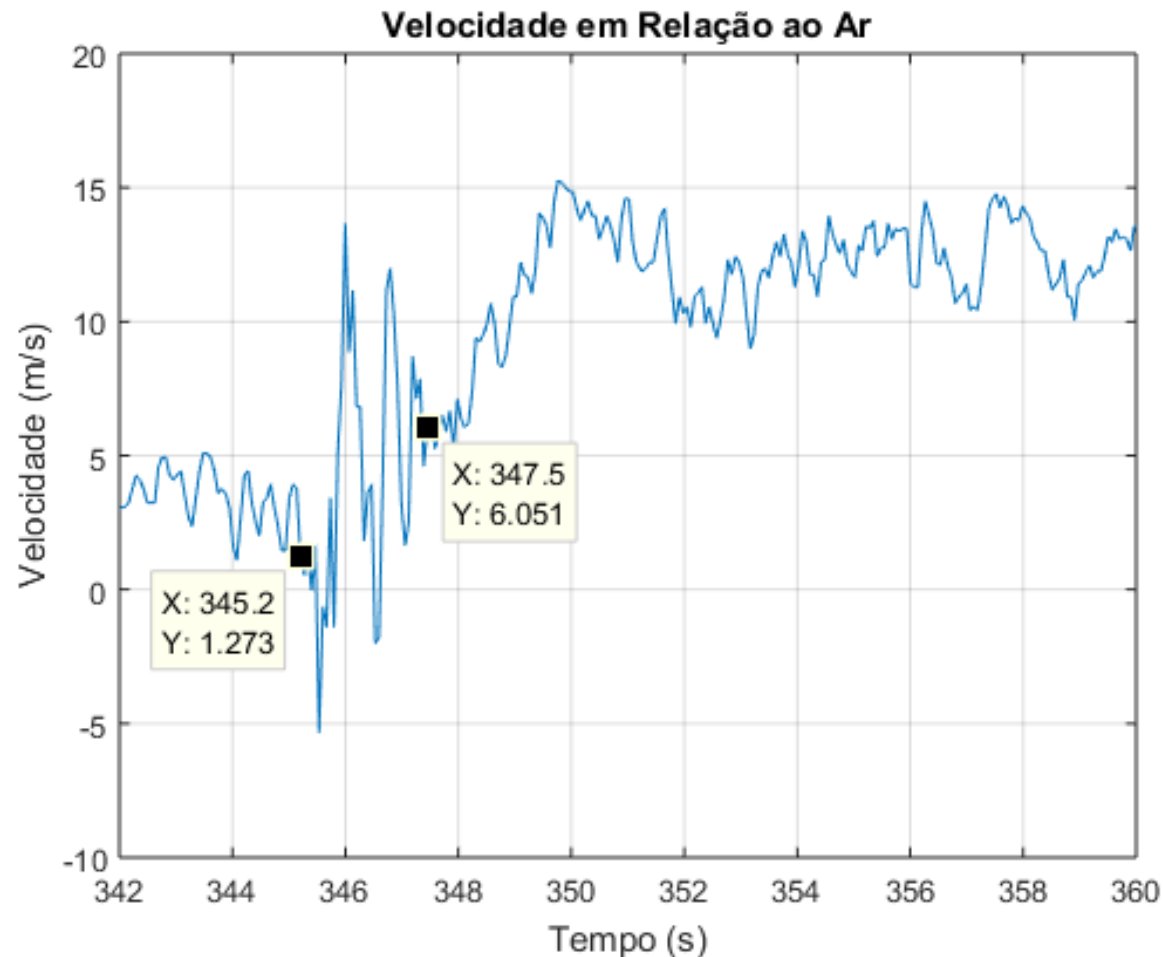


- Revisão Bibliográfica
- Requisitos do Projeto
- Desenvolvimento
 - Componentes
 - Placa de Aquisição de Dados
 - Interfaces com o Usuário
- Apresentação e Discussão dos Resultados
- Conclusões
- Trabalhos Futuros

Resultados

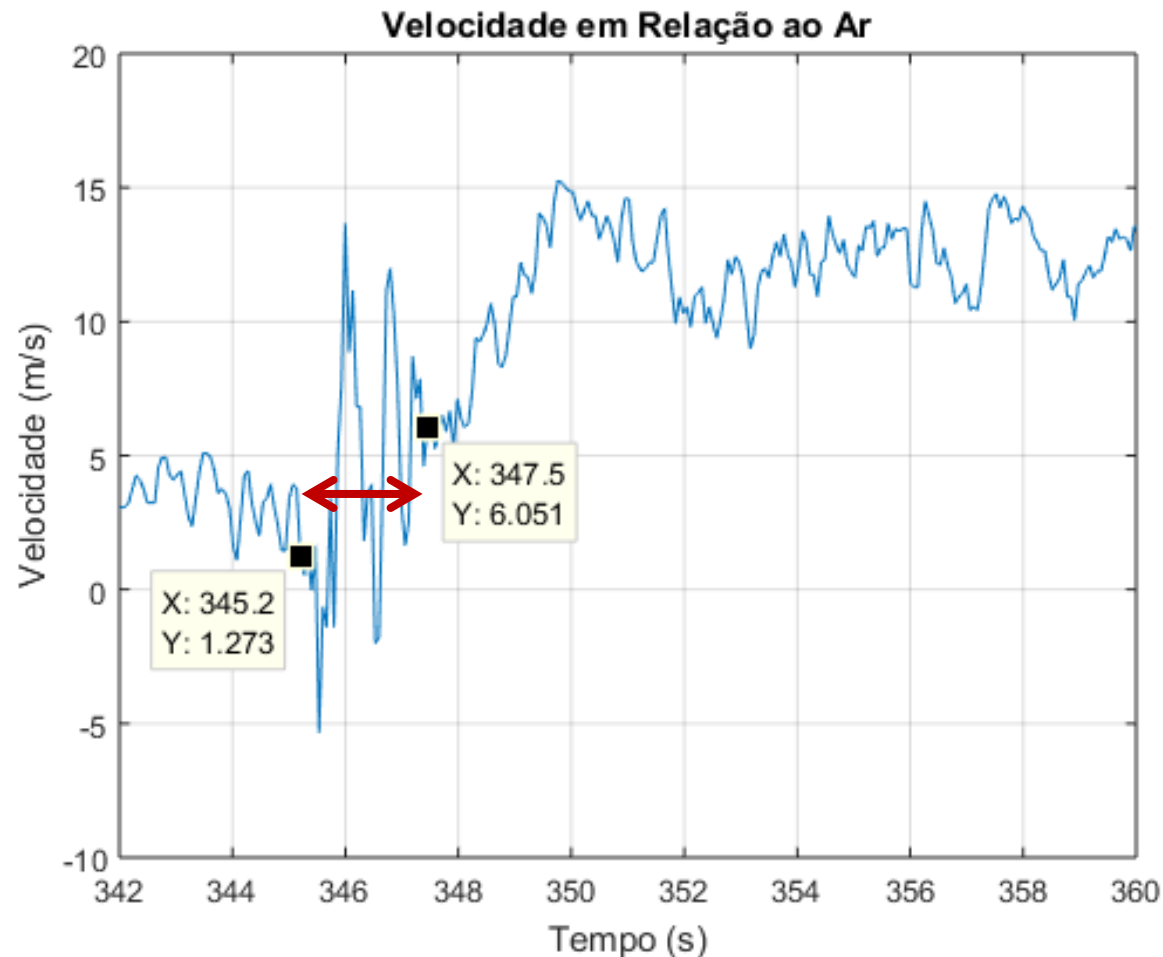


Decolagem



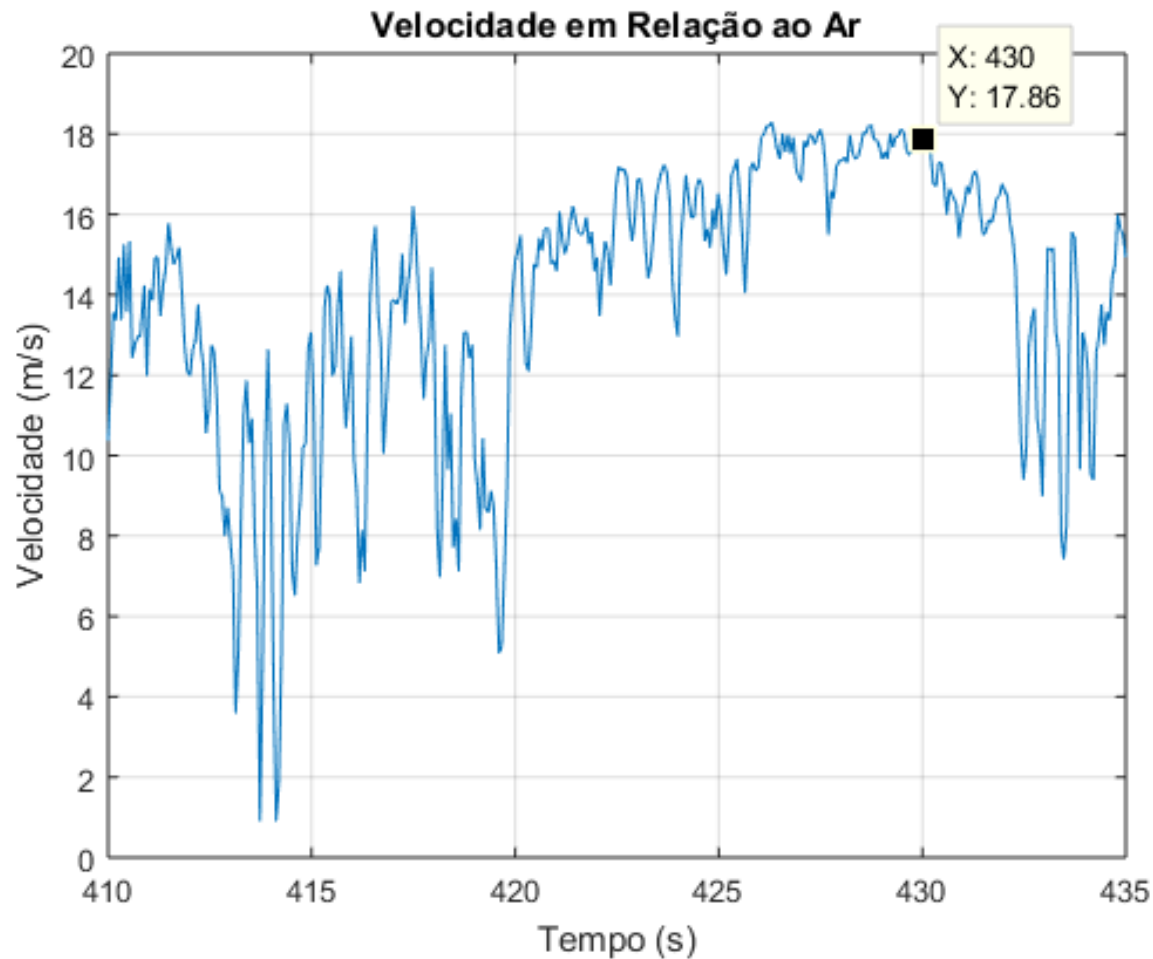
- Média móvel de 3 valores.

Decolagem



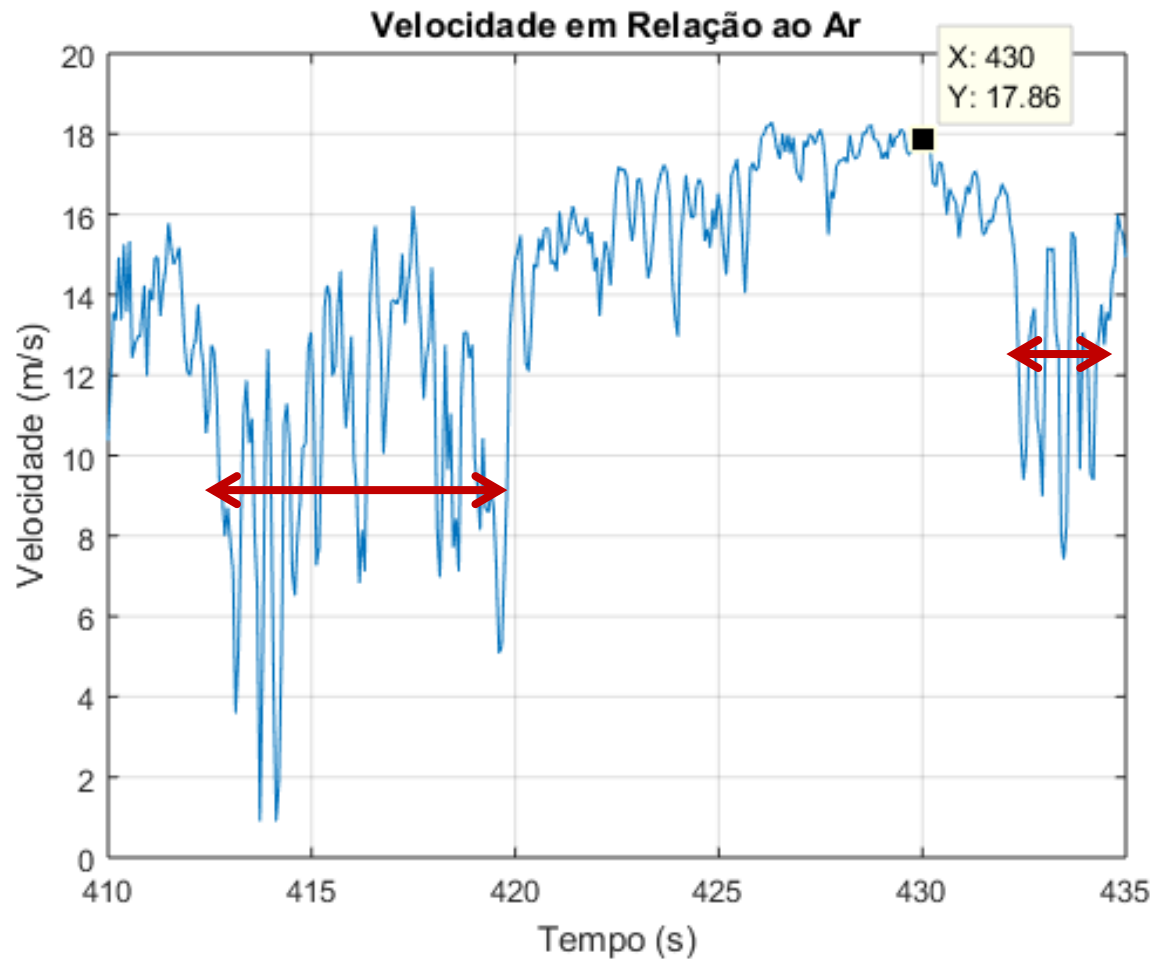
- Média móvel de 3 valores.

Manobra de descida



- Média móvel de 3 valores.

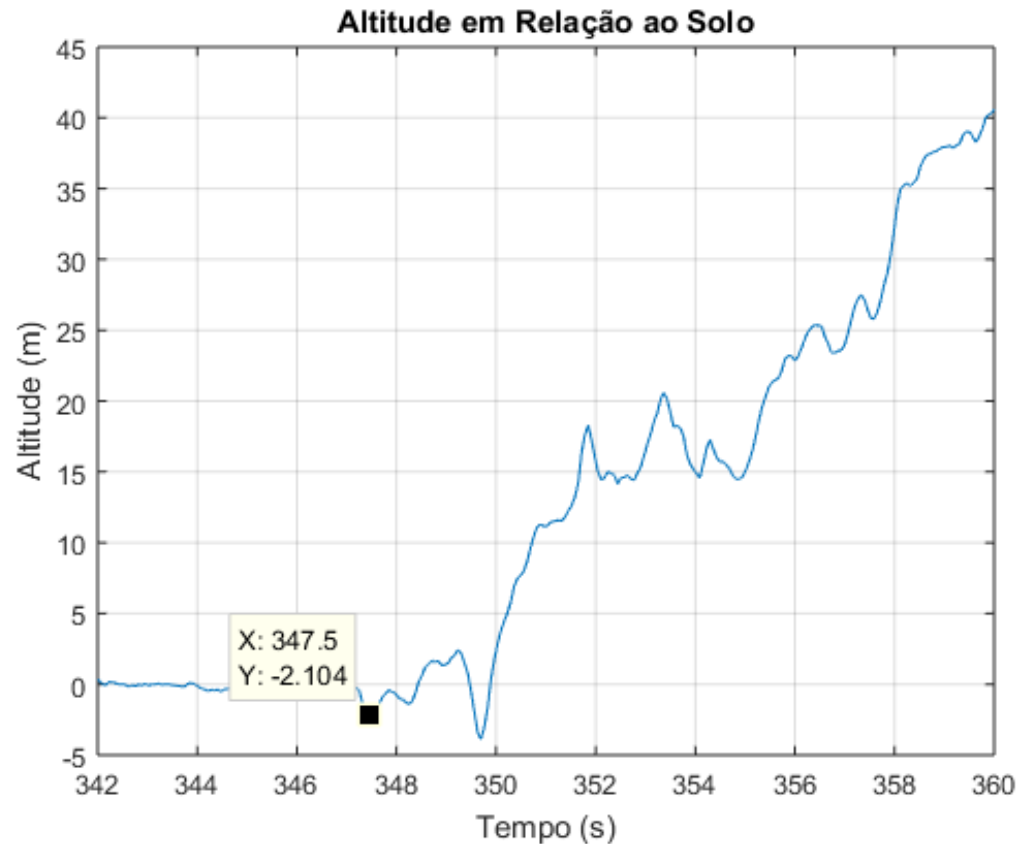
Manobra de descida



- Média móvel de 3 valores.

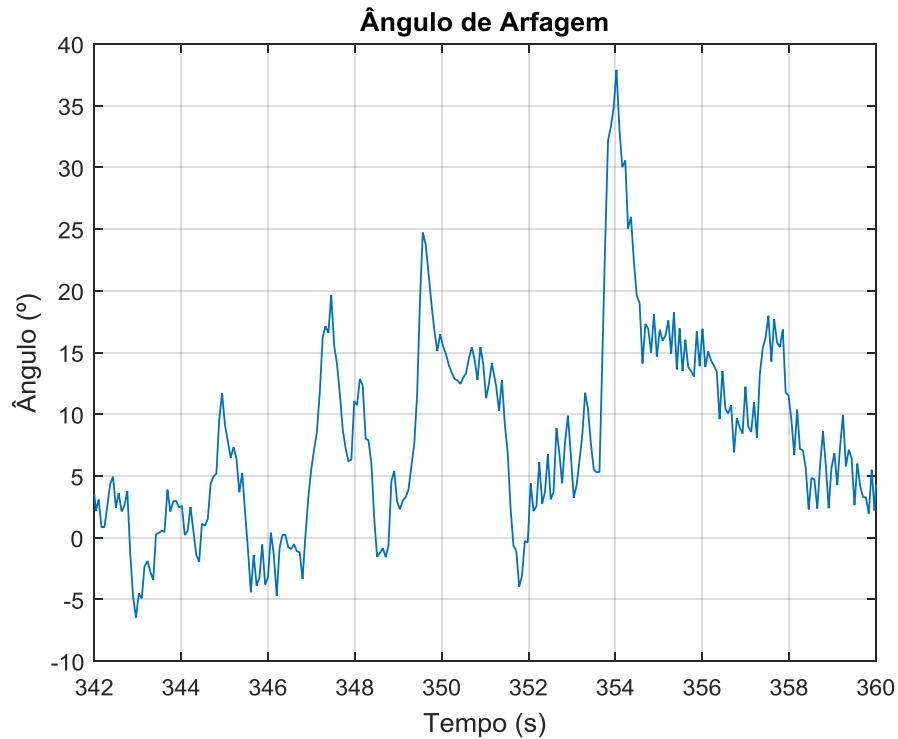
- ↑ Avaliação do comportamento da aeronave.
- ↓ Caráter **oscilatório**.
- ↓ Faixa de trabalho de **8 a 15,5m/s**.
- ↓ Diferença das condições de medição
 - Calibração: **100 amostras** em intervalos de **50ms**.
 - Teste: **3 amostras** em intervalos de **66ms**.
- Não está satisfatório.

Decolagem

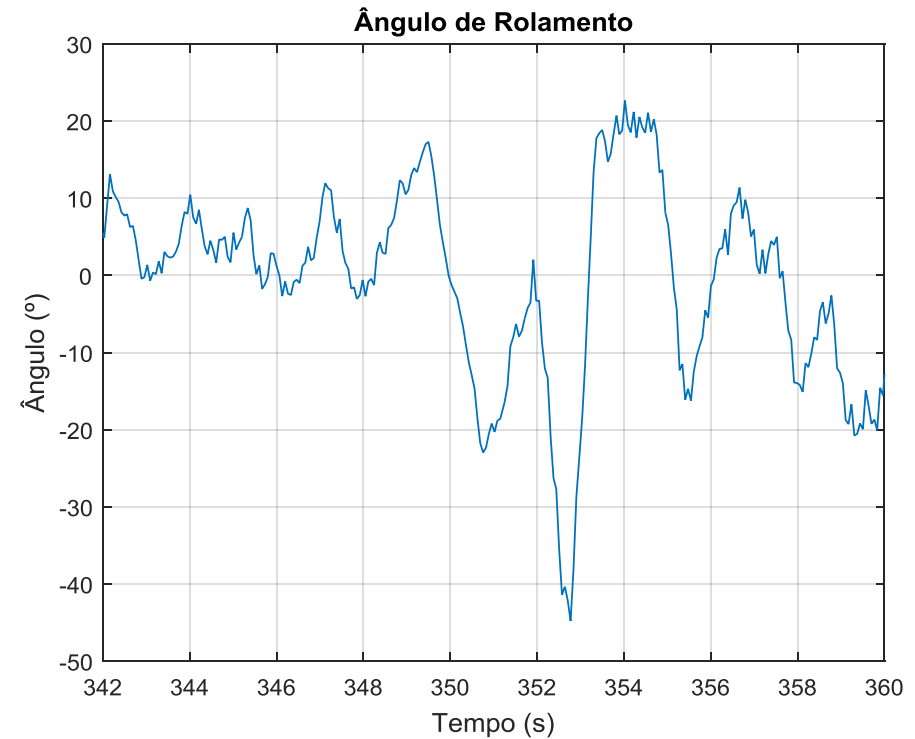


- Média móvel de 3 valores.
- ↓ Ultrapassa o erro máximo tolerado.
- Não está satisfatório.

Decolagem

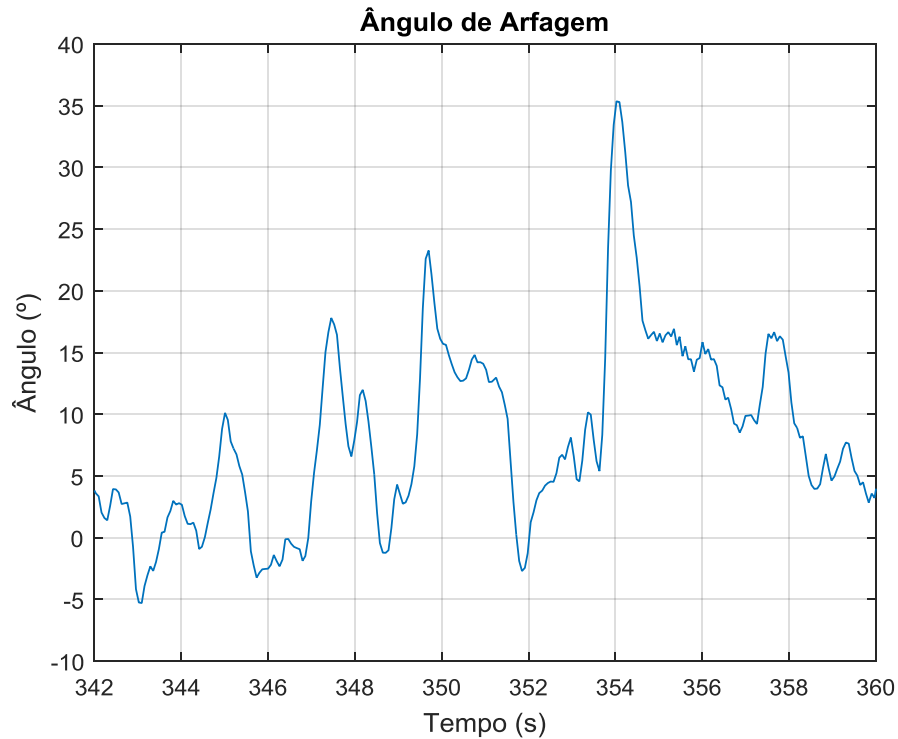


Decolagem

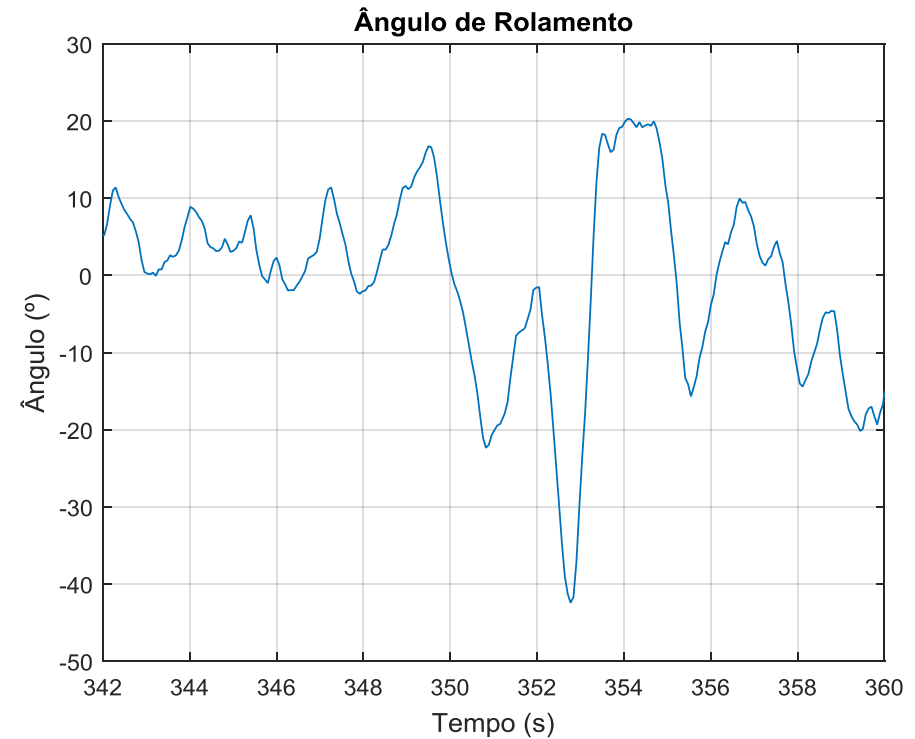


- ↓ Caráter **oscilatório**.
- Não está satisfatório.

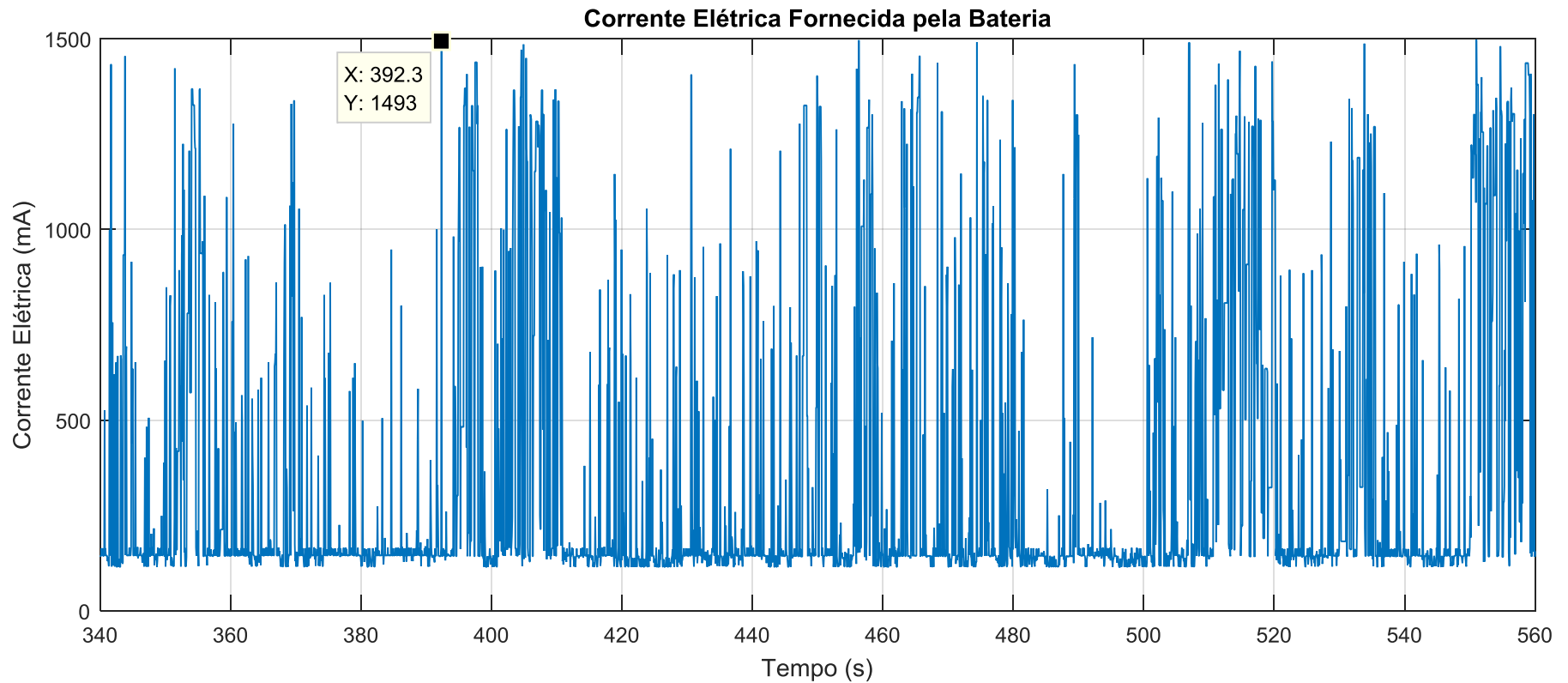
Decolagem



Decolagem



- Média móvel de 3 valores.
- ↑ Avaliação do comportamento da aeronave.



- Satisfatório.

Conclusões

- ↑ Plataforma de aquisição e transmissão dados estão **satisfatórios**.
- ↑ É possível avaliar **características da aeronave** com os resultados obtidos.
- ↓ Resultados de velocidade do ar e orientação **não estão satisfatórios** devido, basicamente, à **vibração mecânica** da estrutura.

- Identificar a influência da **vibração mecânica** na resposta de **velocidade do ar** e **aceleração** realizando a coleta dos dados a uma frequência superior a **420Hz**.
- Estudar a influência da **temperatura** no resultado no sensor de pressão diferencial MPX7002DP.
- Comparar a resposta do sensor com e sem a **influência aerodinâmica da asa** em um túnel de vento.
- **Comparar** os resultados de orientação e altitude com **instrumentos comerciais**.

G1. Avião militar da Embraer tem incidente durante voo de teste em Gavião Peixoto, SP. G1, 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/aviao-militar-da-embraer-tem-incidente-durante-voo-de-teste-em-gaviao-peixoto-sp.ghtml>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

ELETTRONICA OPEN SOURCE. Sensori MEMS offrono dieci gradi di libertà. Elettronica Open Source, 2011. Disponível em: <<https://it.emcelettronica.com/sensori-mems-offrono-dieci-gradi-di-liberta>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

HALL, N. Pitot-Static Tube. NASA, 2015. Disponível em: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/pitot.html>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

SCHNEIDER, P. S. Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Apostila para disciplina "Medições Térmicas".

LECCADITO, M. A Kalman Filter Based Attitude Heading Reference System Using a Low Cost Inertial Measurement Unit. Richmond. 2013. Dissertação de Mestrado em Ciência.

OBRIGADO!



