



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Sistemas de telemetria embarcada com Arduino para coleta de dados em um minifoguete experimental

Josenei Godoi de Medeiros

Grupo de pesquisa CFD, propulsão e aerodinâmica de foguetes, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná - UFPR - joseneigodoi@yahoo.com.br

Resumo

Objetivo deste trabalho é auxiliar na decisão do uso do Arduino como elemento coletor de dados de um voo para um minifoguete experimental. Portanto, este trabalho apresenta os tipos de Arduino existentes que podem ser usados de forma embarcada em um minifoguete experimental, além de outros tipos de Arduino usados para testes em bancada. Serão descritas as características de cada um, bem como dos sensores usados para coleta de dados desejados. Estes sensores coletam os dados como de humidade, temperatura, altímetro e outros que forneçam dados que possam ser relevantes para a caracterização do voo ou do objetivo de coleta do mesmo. Assim foram explanadas as possibilidades de cada configuração permitindo que se tenha uma visão sistêmica de cada uma e com isso auxiliar no processo decisório de implantação do mais adequado no minifoguete.

Palavras chaves: Arduino, Espaço modelismo, mini fogetes, telemetria

Sumário

1. Introdução.....	2
2. Materiais e Métodos	3
2.1. Arduino	4
2.1.1. Arduinos para testes de bancada	4
2.1.2. Arduinos para uso embarcado	8
2.2. Sensores	12
2.2.1. Altímetro	12
2.2.2. Sensor de Umidade.....	13
2.2.3. Sensor de Temperatura.....	15
2.2.4. GPS.....	17
2.2.5. Transmissor e receptor de RF.....	17
2.3. Alimentação e baterias.....	19
2.4. Configurações de sistemas para telemetria.....	20
2.4.1. Configurações x Peso do sistema	20
2.4.2. Configurações x espaço na memória do Arduino	21
2.4.3. Configurações x consumo de energia.....	23
3. Resultados e Discussão	24
4. Conclusão	25
Referências Bibliográficas	26

1. Introdução

Telemetria traz na raiz de seu nome, de origem grega, em que “*Tele*” significa “*longe*” e “*meter*” significa “*medir*”, o que se deseja com este trabalho que é a coleta de dados remotamente (1). Dessa forma esse trabalho irá propor formas de como obter dados através de sensores e como guardá-los de forma segura para que possam ser recuperados posteriormente

A aplicação principal para a coleta de dados mostrado neste trabalho é do voo de um minifoguete experimental. Esta aplicação não será definida em detalhes, pois se partirá do suposto de que se trata de um minifoguete adequado ao tamanho do sistema de telemetria e

com força suficiente para que este possa transportá-lo sem comprometer seu objetivo de trajetória de voo.

Os sistemas embarcados sugeridos neste trabalho serão construídos a partir de uma arquitetura centralizada e contarão com uma única Unidade Eletrônica de Controle (UEC) que será responsável pela coleta de dados dos sensores (2).

Esta UEC terá como controlador um sistema de prototipagem baseado no micro controlador Arduino. O Arduino *“é uma plataforma open source de computação física baseada em uma entrada simples/saída (I/O) a bordo e um ambiente de desenvolvimento que implementa a linguagem Processing”* (3).

Por se tratar de uma plataforma livre de Hardware, ele possui uma grande variedade de versões disponíveis no mercado. Dentre essas variações têm-se diferenças de tamanhos de placas, diferenças de Microcontrolador, de memória interna, de número de portas de entradas e até de consumo de energia (4).

Todas estas características possuem um papel importante em cada tipo de projeto. Qualificá-las e ponderar sobre seu peso individual requer uma análise sistêmica da configuração de cada Arduino usado, do sistema de telemetria desejado como um todo e sobre o que se deseja obter de dados coletados no projeto do minifoguete.

Portanto serão analisadas essas características e será apresentada uma tabela que contenha as diferenças entre os principais tipos de configuração de Arduino, bem como sistemas diferentes sugeridos para a telemetria e as características de cada sensor envolvido nestes sistemas.

2. Materiais e Métodos

Serão analisadas placas de Arduinos e suas configurações. Estes tipos de Arduino serão divididos em dois grupos sendo um para uso embarcado e outro para testes em bancada.

Essa diferenciação, ou equiparação, de um Arduino para uso embarcado e para teste em bancada é sugerida neste trabalho para que se tenha a facilidade de uso de alguns

Arduinos que possuem tamanhos reduzidos com as mesmas características dos que podem ser usados para testes dos sensores em bancada.

Sabe-se que o tamanho reduzido de alguns tipos de Arduino pode dificultar e até ocasionar danos no mesmo durante a manipulação em bancada. Por isso sugere-se usar equivalentes de mesmo tipo de processador, memória e características eletrônicas para se realizar a programação, teste de desempenho, velocidade, uso da memória e integração dos sensores ao sistema de telemetria.

Após os testes iniciais e programação básica pode-se montar o sistema com o Arduino de tamanho reduzido, com menos riscos de danos durante manipulações.

Portanto serão analisados os modelos comuns de Arduinos maiores e suas características, Arduinos comuns com tamanho reduzido, mais adequado ao uso embarcado e ainda serão vistos alguns modelos não convencionais no mercado, porém com potencial de uso nas aplicações embarcadas.

Os sensores são os responsáveis pela transformação do fenômeno físico em sinal elétrico que pode ser lido pelo Arduino e salvo como dado em sua memória (5). Estes dados são o objetivo da telemetria, seu conjunto ou até mesmo em sua forma unitária fornece o parâmetro de conhecimento desejado sobre o experimento.

Serão analisados os sensores de altitude, ou altímetro, sensor de humidade e sensor de temperatura, todos compatíveis com Arduino e de fácil aquisição no mercado brasileiro.

2.1.Arduino

Os Tipos de Arduinos tratados neste trabalho serão divididos em dois grupos. Os Arduinos referentes a testes para bancada e os que serão embarcados no minifoguete para o sistema de telemetria.

2.1.1. Arduinos para testes de bancada

Na tabela 1 têm-se os modelos de Arduino sugeridos para testes de bancada com suas características principais.

Observa-se nesta tabela que os modelos têm algumas características semelhantes como a tensão de entrada máxima, mínima e recomendada, assim como a tensão de operação.

Em geral estes modelos de Arduino não apresentam características que os impeçam de trabalhar com os sensores utilizados para telemetria sugerida. Como o intuito desta classificação é separar os modelos que são mais fáceis de uso, com preço baixo de mercado e de fácil manuseio, podem-se realizar as seguintes observações:

- Arduino UNO (4), o mais popular e tem o melhor preço do mercado, podendo ser encontrado com facilidade. Suas características são modestas com relação a corrente de saída das portas digitais, contudo não é um fator impeditivo para o uso na telemetria proposta.
- Arduino Mega (4), o maior de todos apresentados aqui e que apresenta as maiores capacidades de memória do grupo selecionado, o que o tornaria excelente para que se possa programar sem a preocupação de espaço e gravação de dados em sua memória EEPROM. É possível que se tenha essa tática ao se iniciar um projeto, contudo deve-se ter em mente que após essa programação sem controle de tamanho deve ser ajustá-la as características dos demais modelos. Seu custo é maior que os demais também e é facilmente encontrado no mercado.
- Arduino Micro (4), apesar de possuir um tamanho menor o que o habilitaria para estar na categoria de embarcados, está presente nesta categoria devido a sua facilidade de conexão USB o que o equipara aos demais modelos com relação a facilidade de uso durante o desenvolvimento do programa. Dessa forma seu ponto positivo é que o mesmo pode ser usado para o desenvolvimento e para a montagem final embarcada. Seu custo é relativamente baixo estando pouco acima do Arduino UNO.
- Arduino Leonardo (4) foi mencionado neste grupo pois ainda é encontrado no mercado e possui as mesmas características do Arduino Micro. Seu valor é acima do Arduino UNO. A vantagem em usar este modelo está em somente na sua facilidade de compra.

- Arduino Duemilanove (4) é o mais modesto de todos em relação a configurações, principalmente nas de memória. Isso o torna interessante para realização de testes, pois além dele possuir uma capacidade menor de armazenamento, o que faz que se tenha um código mais enxuto, a preocupação de gravação de somente dados essenciais no tempo certo e o processamento mais lento. Apesar de não ser mais fabricado oficialmente é encontrado em suas versões genéricas com facilidade e a um preço acessível no mercado.

As características de tamanho são as mesmas entre o UNO, o Duemilanove e o Leonardo, que se difere destes somente no peso menor. Caso se tenha a possibilidade de ter um veículo com espaço suficiente para embarcar uma destas, o Leonardo é o que apresentaria um peso menor em relação aos demais.

Tabela 1 - Modelos de Arduinos selecionados para testes em bancada (4).

Modelo	UNO R3	Mega 2560	Micro	Leonardo	Duemilanove
Característica					
µC ATmega	328P	2560	32u4	32u4	168
V. Operação	5V	5V	5V	5V	5V
V. Ent. Recom.	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V
V. Ent. Limites	6-20V	6-20V	6-20V	6-20V	6-20V
Portas Analóg.	6	16	12	7	6
Cor. Pinos I/O	20mA	40mA	20mA	40mA	40mA
Memória Flash	32KB	256KB	32KB	32KB	16K
SRAM	2KB	8KB	2.5KB	2.5KB	1KB
EEPROM	1KB	4KB	1KB	1KB	512b
Vel. do Clock	16Mhz	16MHz	16Mhz	16Mhz	16Mhz
Peso	25g	37 g	13g	20g	25g
Largura	68.6 mm	53.3 mm	48mm	68.6 mm	68.6 mm
Comprimento	53.4 mm	101.52 mm	18mm	53.3mm	53.3mm

As figuras 1, 2, 3, 4 e 5 mostram as placas dos Arduinos UNO, MEGA, Micro, Leonardo e Duemilanove respectivamente.



Figura 1 - Arduino UNO

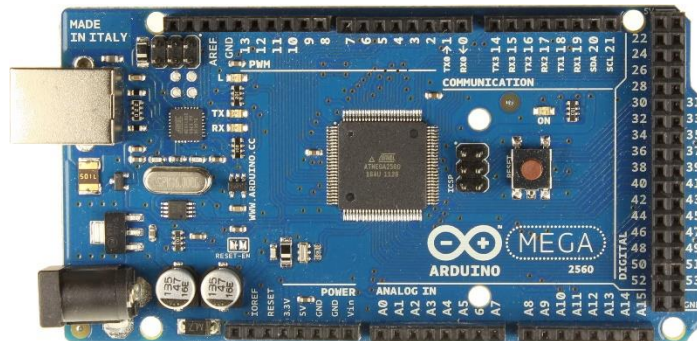


Figura 2 - Arduino Mega



Figura 3 - Arduino Micro

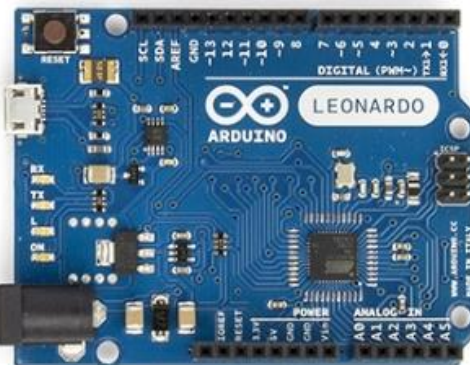


Figura 4 - Arduino Leopardo

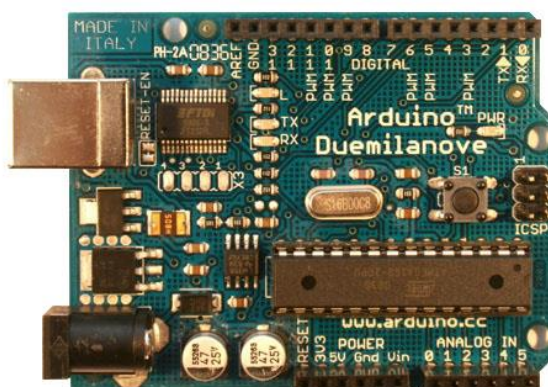


Figura 5 -Arduino Duemilanove

2.1.2. Arduinos para uso embarcado

O uso do Arduino para sistemas embarcados de telemetria em minifoguetes é uma alternativa barata, e de fácil customização. Respeitando-se os limites impostos pelo Arduino, podem-se realizar medições com erros aceitáveis e ter uma plataforma robusta e confiável de coleta de dados.

Não existe um Arduino específico para uso embarcado em minifoguetes, pois o Arduino é uma placa eletrônica de prototipagem genérica (3). Esta é uma característica vantajosa e que ao mesmo tempo impõe algumas outras não desejadas ao sistema, como, por exemplo, o fato de ter portas que não serão usadas, outros componentes na placa que não seriam necessários, o que torna a placa mais pesada e maior do que se poderia conseguir em uma placa dedicada ao uso para a telemetria de um minifoguete.

Os modelos apresentados nesta seção foram assim classificados por possuírem algumas características que são essenciais para que se tenha esse sistema em um minifoguete. Portanto procuraram-se modelos que atendam a alguns requisitos como tamanho, peso, memória disponível, alimentação, e consumo de energia.

A Tabela 2 mostra os modelos de Arduino que possuem o perfil para um sistema embarcado em minifoguetes.

Tabela 2 - Arduinos com perfil para sistemas embarcados em minifoguetes (4).

Modelo	Nano	Pro Mini	Micro	Lilypad	Gemma	Trinket
Características						
µC ATmega	168	328p	32U4	32u4	tiny85	tiny85
V. Operação	5 V	5 V	5V	3.3V	3.3V	3.3V
V. Ent. Recom.	7-12 V	5-12 V	7-12	3.8V-5V	4V-16V	5.5-16V
V. Ent. Limites	6-20 V	5-20V	6-20V	-	-	-
Portas Analóg.	8	8	12	9	1	1
Cor. Pinos I/O	40 mA	40 mA	20 mA	40mA	20 mA	20 mA
Memória Flash	32 KB	32 KB	32 KB	32KB	8 kB	8 kB
SRAM	2 KB	2 KB	2.5KB	2.5KB	512b	512b
EEPROM	1 KB	1 KB	1 KB	1 KB	512b	512b
Vel. do Clock	16MHz	16MHz	16 MHz	16 MHz	8 MHz	8 MHz
Peso	5g	2g	13 g	5g	2g	1,85g
Largura	45mm	33mm	48 mm	-	-	31mm
Comprimento	18mm	18mm	18 mm	-	-	15,5mm
Diâmetro	-	-	-	52mm	28mm	

Observa-se nesta tabela que com relação a peso e tamanho o Arduino Trinket (6) é a melhor escolha, porém não é o que oferece maior memória e capacidade de processamento.

Contudo este é um Arduino que apresenta maior dificuldade de configuração, pois necessita de algumas adaptações e de conexões externas para que se possa trabalhar em sua programação. Neste caso sugere-se o uso de Arduinos de bancada para que se possa realizar a programação desejada, bem como os testes necessários e posteriormente, depois de finalizado passar para o Pro Mini.

Outra desvantagem é para a leitura dos dados. Este modelo tem de ser conectado ao conjunto de fios e conexão específica para que se possam extrair os dados da sua memória. Isto não pode ser feito com praticidade encontrada nos outros modelos.

Os modelos Nano e Micro possuem praticamente as mesmas características, com apenas 3mm a mais de largura para o Micro, o que pode ser relevante no diâmetro do corpo

de um minifoguete (4). Contudo estes dois modelos já vêm com a entrada de conexão USB, o que facilita e muito a interligação com o computador. Essa conexão em campo se faz necessária para a coleta de dados e transferência para o computador.

Os Modelos Lilypad (4) são diferenciados dos demais, pois foram inicialmente projetados para serem usados juntamente com tecidos e em projetos têxteis, contudo seu tamanho reduzido e baixo consumo tornando-os uma opção interessante para os projetos de telemetria embarcada em minifoguetes. O modelo Lilypad tradicional possui um diâmetro maior, contudo o modelo Gemma possui um diâmetro maior, entretanto usa um microprocessador com uma memória menor, além de um número reduzido de portas. A vantagem deste modelo além do tamanho reduzido é o peso de apenas 2g

Dentre os modelos de Arduino não tradicionais destaca-se o Microcontrolador Adafruit Trinket (6) pelo seu reduzido tamanho e peso de apenas 1,8g. Apesar das limitações de memória e número de portas disponíveis este modelo é o menor encontrado e com a operação em 3.3V possui um baixo consumo de energia.

Apesar de não estarem representados em tamanhos reais para comparação as figuras 6,7,8,9, 10 e 11 mostram os Arduinos modelos Nano, Pró mini, Micro, Lilypad, Gemma e Trinket respectivamente.

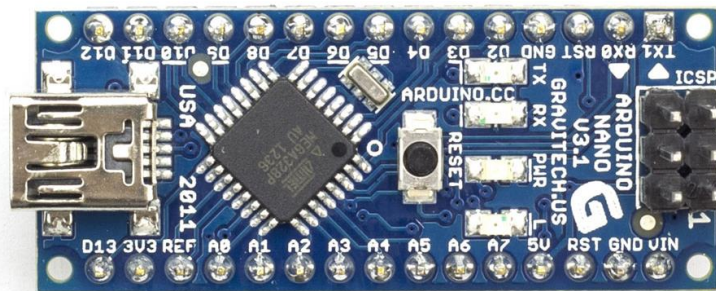


Figura 6 - Arduino Nano

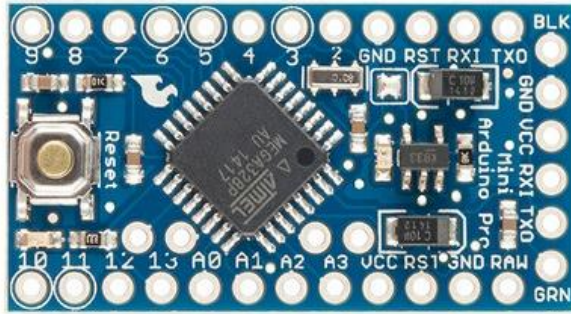


Figura 7- Arduino Pró Mini



Figura 8 - Arduino Micro

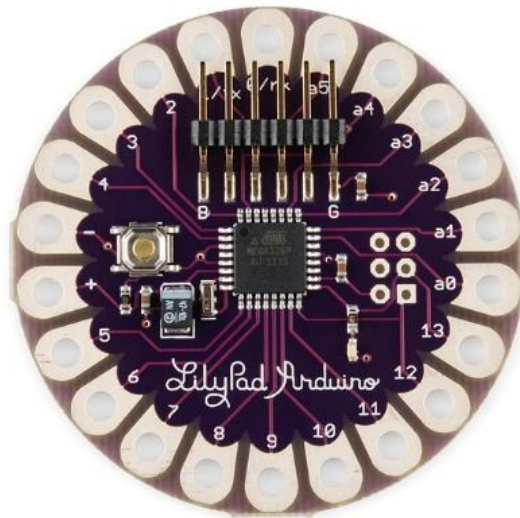


Figura 9 - Arduino Lilypad



Figura 10 - Arduino Gemma



Figura 11 - Arduino Trinket

2.2.Sensores

Os sensores abordados nesta seção referem-se a alguns tipos básicos de dados a serem coletados em um voo típico de um minifoguete experimental como altitude, temperatura, localização e umidade.

2.2.1. Altímetro

O sensor sugerido para este fim é um sensor de pressão atmosférica digital feito com o chip da BOSCH BMP180 (7), que pode medir uma faixa de 300-1100hPa com resolução de 50cm. Possui baixíssimo consumo de corrente de até 5uA e já foi testado para este uso e para a medição de altitude deve se realizar os cálculos adequados para este fim (8).

Trabalha com tensões de 1,8 a 3,6V e foi projetado para comunicar-se via I2C com um microcontrolador. Outra característica deste sensor é que ele também faz medição de temperatura.

Especificações:

- Chip: BMP180
- Tensão de operação: 1,8-3,6V
- Faixa: 300-1100hPa (Altitude +9000m a -500m)
- Resolução: 0,06hPa (Altitude 50cm)
- Consumo corrente: 5uA
- Tempo de reação: 7,5ms
- Dimensões: 14 x 12mm
- Peso: 1,2g
- Interface: I2C
- Saída para Temperatura

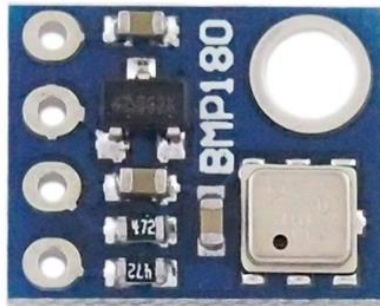


Figura 12- BOSCH BMP180

Os códigos de trabalho com este sensor foram abordados por Matos (2016).

2.2.2. Sensor de Umidade

2.2.2.1. DHT22

O DHT22 (9) é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%. Usa o sensor AM2302 que é formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar ao redor, enviando no pino de dados um sinal digital.

Especificações:

- Modelo: AM2302

- Tensão de operação: 3-5VDC (5,5VDC máximo)
- Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR
- Faixa de medição de temperatura: -40° a +80°C
- Corrente: 2,5mA max durante uso, em stand by de 100uA a 150 uA
- Precisão de umidade de medição: $\pm 2,0\%$ UR
- Precisão de medição de temperatura: $\pm 0,5$ °C
- Resolução: 0,1
- Tempo de resposta: 2s
- Dimensões: 25 x 15 7mm (sem terminais)
- Peso: 2,4g



Figura 13- Sensor DHT-22

2.2.2.2. DHT11

O DHT11 (10) também é um sensor de umidade relativa e temperatura, com saída digital calibrada. Possui internamente um Microcontrolador de 8 bits para tratar o sinal. Todos os sensores desse modelo são calibrados de fábrica, e os dados e coeficientes da calibração estão gravados na memória do módulo.

Possui tamanho compacto, baixo consumo, encapsulamento simples com apenas quatro terminais.

Especificações:

- Tensão de alimentação: 3 a 5.5 VDC (5VDC recomendado)

- Saída do sinal: digital de 1 fio
- Tipo do sensor: Resistor polimérico
- Faixa de medição: 20-90% RH; 0-50°C
- Precisão: Umidade $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH); Temperatura: $\pm 2^\circ\text{C}$
- Resolução: Umidade 1%; Temperatura: 0.1°C
- Estabilidade a longo prazo: $\pm 0.5\%$ RH/ano
- Tempo de medição: 2s
- Dimensões: 12x15.5x5.5mm
- Peso: 3g

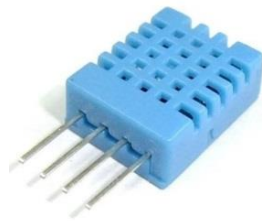


Figura 14- DHT-11

2.2.3. Sensor de Temperatura

Serão indicados dois sensores digitais de temperatura o DS18B20 (11) e o LM35 (12).

2.2.3.1. Sensor de Temperatura Digital DS18B20

O sensor DS18B20 é fabricado pela Dallas e realiza leituras de temperaturas entre -55°C e $+125^\circ\text{C}$ com precisão de $0,5^\circ\text{C}$.

Especificações:

- Chip: DS18B20
- Tensão de operação: 3-5,5V
- Faixa de medição: -55°C a $+125^\circ\text{C}$
- Precisão: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ entre -10°C e $+85^\circ\text{C}$
- Encapsulamento: TO-92
- Peso: 0,2g



Figura 15 - Sensor de Temperatura Digital DS18B20

2.2.3.2. LM35

Comunicação com o Microcontrolador utilizando apenas um pino. Saída de tensão proporcional à temperatura. Possui faixa de leitura de -55°C a 150°C e precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$.

Especificações:

- Sensor de Temperatura LM35
- Faixa de temperatura: -55°C a 150°C
- Precisão: $0,5^{\circ}\text{C}$
- Calibrado em graus Celsius
- Tensão de operação: 4 a 30V
- Consumo de corrente: $<60\ \mu\text{A}$
- Peso: 0,2g

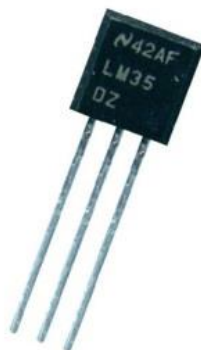


Figura 16- Sensor de Temperatura Digital LM35

2.2.4. GPS

O módulo GPS - SKM53 (13) - Skylab com antena embutida mostrado na Figura 17 possui as seguintes características:

- Ultra high sensitivity: -165dBm
- 22 tracking/66 acquisition-channel receiver
- WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN support
- protocolo NMEA (velocidade padrão: 9600bps)
- Bateria de backup interna e 1PPS output
- Antena interna 18.2 x 18.2 x 4.0 mm
- Temperatura de operação: -40°C a 85°C
- Peso: 9g

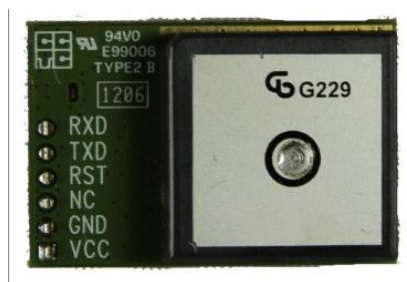


Figura 17 - Módulo GPS - SKM53 - Skylab com antena embutida.

2.2.5. Transmissor e receptor de RF

2.2.5.1. Transmissor e Receptor 433MHz (14)

RF Link de 433MHz é popularmente usado em controle remoto, e em alguns casos para transmissão de dados em baixa velocidade e curta distância, onde por exemplo você poderá enviar dados de um sensor, ou controlar o acionamento de um dispositivo. Pode ser ligado diretamente ao Microcontrolador, ou por exemplo no Arduino.

A comunicação é unidirecional, ou seja, apenas o transmissor envia os dados para o receptor. Em condições ideais, pode chegar ao alcance de 150 metros, mas normalmente a

distância é inferior. Para melhorar o alcance, você deve soldar um fio de cobre de 17cm de comprimento no furo próprio para antena.

Especificações:

- Frequência: 433.92MHz
- Modulação: ASK



Figura 18 - 2.2.5.1. Transmissor e Receptor 433MHz

2.2.5.2. APC220 Transmissor/Receptor sem fio 1000 metros (15)

Este módulo é um poderoso transceiver sem fio, half-duplex. Transmite dados de forma SERIAL. É composto por um Micro controlador rápido e um chip RF poderoso. Possui método de Encoder anti-interferência, vários canais de comunicação, longo alcance de transmissão (1000 metros em campo aberto) e interface UART TTL, possibilitando fazer transmissões de dados sem a necessidade de programação ou configuração. Possui tamanho reduzido e antena para melhor desempenho.

Características:

- Frequência de trabalho: 418 MHz até 455 MHz
- Potência de saída: 20mW
- Alimentação: 3.5-5.5V
- Corrente: <25-35mA
- Temperatura de operação: -20°C ~ +70°C
- Alcance: 1000m line of sight (2400 bps)
- Interface: UART/TTL
- Baud rate: 1200-19200 bps
- Baud rate (air): 1200-19200 bps

- Buffer de recepção: 256 bytes
- Dimensões: 37.5mm × 18.3 mm × 7.0mm
- Peso: 30g



Figura 19 - APC220 Transmissor/Receptor sem fio.

2.3. Alimentação e baterias

A alimentação do sistema é um item importante, pois ela é responsável por manter o sistema ativo durante todo período da coleta de dados desejada, ou seja, ela tem que fornecer tensão suficiente para manter o circuito em funcionamento durante o voo.

Outro fator importante sobre a bateria é que ela pode se tornar um problema no conjunto do sistema, pois ela é um dos itens com maior peso ou que pode ocupar um maior espaço.

Dessa forma a bateria ideal seria a menor em tamanho, com menor peso e que mantem a tensão por maior tempo, fornecendo a corrente solicitada pelo circuito.

As baterias que podem ser usadas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de baterias para alimentação do Sistema

Modelo	Marca	Tensão	Tecnologia	mA/h	Dimensões	Peso(g)
23A12V (16)	Energizer	12V	Alcalina	55	28,5x10x5mm	8
23A 12V (17)	Duracell	12V	Alcalina	55	28,5x10x5mm	8
9V (16)	Energizer	9V	Recarregável	120	67x62mm	22
9V (17)	Duracell	9V	Alcalina	550	67x62mm	22
Lítio 2032 (16)	Energizer	3V	Lítio	225	20mm Diam.	2,5

Apesar destas serem os tipos convencionais de bateria usadas, há no mercado tipos alternativos de bateria que são fabricadas para uso específicos como para alimentação de celulares e brinquedos e que podem ser adaptadas para o uso nos sistemas aqui apresentados. Contudo por se tratar de tipos adaptáveis não serão abordados neste trabalho, porém o cálculo e a metodologia de teste aqui apresentadas, pode ser empregada para estes modelos de baterias.

2.4. Configurações de sistemas para telemetria

Foram consideradas algumas configurações para telemetria em minifoguetes. Estas configurações foram adotadas para que se tenha um sistema que atenda o objetivo da telemetria e também para que possa se adequar ao modelo do minifoguete, visto que estes possuem tamanhos variados e possuem capacidade de cargas distintas.

Para que se tenha o sistema é necessário ter uma fonte de alimentação, como uma bateria por exemplo, e uma UEC. Arelado a esta UEC estão os sensores, estes variam de acordo com a necessidade dos dados coletados.

Portanto foram sugeridas as seguintes configurações:

1. UEC + Bateria 23A + Altímetro (UBA)
2. UEC + Bateria 23A + Altímetro + Transmissor de RF (APC220) (UBAT)
3. UEC + Bateria 23A + Altímetro + Sensor de umidade DHT22 (UBASU)
4. UEC + Bateria 23A + Altímetro + Sensor de temperatura (DS18B20/LM35) (UBAST)
5. UEC + Bateria 23A + Altímetro + GPS (UBAG)

2.4.1. Configurações x Peso do sistema

A Tabela 4 mostra os pesos de cada componente e a soma deles em cada configuração montadas a partir das 6 UEC's sugeridas. Estes pesos são referenciais baseados nos Datasheets de cada componente e estão, portanto, aproximados. Certamente que em uma montagem estes pesos podem variar e devido a outros fatores como soldas e fios usados.

Tabela 4 - Tabela de pesos dos sensores e de cada tipo de Arduino, juntamente com a soma dos pesos para cada configuração sugerida.

Item (peso em g)						
	Nano	Pró mini	Micro	Lilypad	Gemma	Trinket
Arduino	5.00	2.00	13.00	5.00	2.00	1.85
Altímetro	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Bateria 23A	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Suporte	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Acessórios	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
LM35	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
DS18B20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
DHT22	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
DHT11	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
GPS	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Trans. RF	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00

Configuração (peso total em g)						
UBA	29.20	26.20	37.20	29.20	26.20	26.05
UBAT	59.20	56.20	67.20	59.20	56.20	56.05
UBASU	31.60	28.60	39.60	31.60	28.60	28.45
UBAST	29.40	26.40	37.40	29.40	26.40	26.25
UBAG	38.20	35.20	46.20	38.20	35.20	35.05

2.4.2. Configurações x espaço na memória do Arduino

A EEPROM do inglês *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* ou Memória Somente de Leitura Programável Apagável Eletricamente é uma memória que pode ser apagada e reprogramada várias vezes (18), apesar de possuir um limite no número de ciclos de leitura/escrita que no caso do Arduino com chip ATmega328P é de 100.000 vezes (19), permite seu uso por um bom tempo para aplicação aqui apresentada.

Conforme visto na Tabela 1 o Arduino Uno possui 1 K de memória EEPROM, ou seja, 1024 posições de memória que podem gravar números que variam de 1 a 255.

A Tabela 5 mostra a quantidade de *bytes* usados por cada medida realizada de cada sensor sugerido para coleta de dados.

Lembrando que esta memória EEPROM é a mesma utilizada para gravar o programa, portanto quanto maior o programa menor será a memória disponível para gravação de dados.

Tabela 5 - Quantidade de *bytes* ocupados por cada medida de cada sensor sugerido

Sensor	Memória em b
Altímetro	2
LM35	1
DS18B20	1
DHT22	2
DHT11	2
GPS	4

Caso se deseje realizar uma coleta de 600 ciclos na configuração UBA e considerando que cada ciclo tenha 1 segundo, teríamos um uso total de 1200 *bytes* usados, o que extrapolaria a memória total disponível do Arduino. Se considerarmos um tempo menor e aplicarmos o dobro de ciclos, ou seja, uma leitura a cada 500ms teríamos uma quantidade de 1200 *bytes* usados de memória. As demais considerações sobre cada possibilidade de configuração e uso de memória considerando estes cenários estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Uso de memória por quantidade de ciclos de leitura realizados

Configuração	(Uso da mem. em b)			
	1 Ciclo	600 ciclos	1200 Ciclos	2400 Ciclos
UBA	2	1200	2400	4800
UBAT	3	1800	3600	7200
UBASU	4	2400	4800	9600
UBAST	4	2400	4800	9600
UBAG	6	3600	7200	14400

Uma possibilidade é otimizar esta quantidade de leituras, diminuindo-as. Um dos objetivos principais é a coleta de dados durante a subida e no apogeu do voo.

Considerando o voo de um minifoguete típico, onde o tempo de voo até o apogeu é de 15s e com quatro leitura por segundo, teríamos um total de 60 leituras úteis até o apogeu. Colocando ainda mais 5 segundos para o início da queda, somaríamos mais 20 leituras. Recomenda-se que se tenham algumas leituras antes do lançamento que pode ser em torno de 30s, ou seja, 30 leituras, sendo uma por segundo.

Portanto com um total de 115 leituras a partir do lançamento teríamos todos os dados do voo coletados.

A leitura da descida poderia ser feita em uma frequência maior sendo que a descida geralmente é feita como auxílio de um paraquedas e dessa forma a velocidade é menor. Portanto uma frequência de leitura de 2 Hz é suficiente para monitorar todo trajeto. Assim tem-se os seguintes uso de memória para este uso otimizado das leituras conforme Tabela 7:

Tabela 7 - Uso da memória em b para cada configuração com os ciclos otimizados

Configuração	(Uso da mem. em b)	
	1 Ciclo	115 Ciclos
UBA	2	230
UBAT	3	345
UBASU	4	460
UBAST	4	460
UBAG	6	690

2.4.3. Configurações x consumo de energia.

Foram considerados neste item o consumo de energia do conjunto de forma plena na coleta de dados de acordo com seus valores fornecidos em seus respectivos datasheets.

Assim elegeu-se três tipos de Arduino para compor as configurações propostas, sendo o Pró mini, o Nano e o Trinket. Estes possuem a mesma capacidade de consumo de corrente. Tem-se na Tabela 8 o consumo de cada configuração para cada Arduino.

Tabela 8 - Consumo de corrente de cada configuração para os Arduinos Pró mini, Nano, Trini

	Arduino		
	Pró mini 0,2mA	Nano 0,2mA	Trinket 0,2mA
	Consumo (mA)	Consumo (mA)	Consumo (mA)
UBA	0,210	0,210	0,210
UBAT	0,240	0,240	0,240
UBASU	0,225	0,225	0,225
UBAST	0,215	0,215	0,215
UBAG	0,600	0,600	0,600

Sabendo a quantidade de consumo de cada configuração podemos estimar o tempo de duração de uma bateria que é dada pela Equação 1.

$$\text{Tempo de duração da bateria (h)} = \frac{\text{Capacidade da bateria (mA/h)}}{\text{Consumo (mA)}} \quad (1)$$

A Tabela 9 mostra o tempo de duração de uma bateria de 9v e uma 23A de 12V.

Certamente que conforme a bateria vá fornecendo energia ao dispositivo sua tensão irá diminuir, contudo o Arduino trabalha com uma tensão fixa, ele converte a tensão de entrada em sua tensão de trabalho, ou seja, enquanto não for atingido este valor ele irá manter seu consumo constante e trabalhando de forma normal. De acordo com os datasheets dos fabricantes há uma queda exponencial da tensão quando se atinge um determinado valor, entretanto esse valor está dentro do tempo de uso estipulado para as configurações.

Tabela 9 - Tempo de consumo de energia para os modelos de bateria 9V e 23A

	Arduino			
	Bateria 9V		Bateria 12V 23A	
	Consumo (mA)	Tempo (h)	Consumo (mA)	Tempo (h)
UBA	21,0	26,9	21,0	2,6
UBAT	24,0	23,5	24,0	2,3
UBASU	22,5	25,1	22,5	2,4
UBAST	21,5	26,3	21,5	2,6
UBAG	60,0	9,4	60,0	0,9

3. Resultados e Discussão

Os dados analisados para os Arduinos de bancada mostram que todos atendem as especificações de teste e são semelhantes aos Arduinos de uso embarcados, tanto em capacidades de memória como de processamento, o que provê uma similaridade para testes em bancada e permite assim ter os mesmos resultados, facilitando, o manuseio durante a fase de testes, calibração dos sensores, e programação dos mesmos.

Os Arduinos de uso embarcado apresentaram suas características distintas e com isso possuem um emprego específico para cada situação e uso, conforme as necessidades de monitoramento dos sensores empregados.

Dessa forma tem-se que os de menor capacidade de memória, podem ser usados para as configurações com menos sensores ou sensores de menor consumo de memória. Já os Arduinos como Pro mini que possui uma capacidade maior de memória comporta o uso de sensores que possuem um maior uso da mesma como o GPS por exemplo.

Com relação ao peso o menor peso conseguido foi com o Arduino Trinket e o maior foi com a o Arduino Micro, usando uma bateria de 12V modelo 23A, contudo o Arduino Pro mini apresentou uma peso pouco acima do menor sendo uma boa alternativa neste quesito. Estes pesos devem ser considerados de acordo como o modelo do minifoguete empregado.

O consumo de energia é praticamente o mesmo para os principais tipos de Arduino embarcados e, portanto sua escolha não interfere no desempenho do sistema. Já a bateria analisada apresentou uma diferença maior na capacidade de fornecimento de energia e deve ser considerada, pois quanto maior a capacidade de fornecer corrente de forma constante maior o tamanho também da bateria, o que acarreta em um peso maior para o sistema. Entretanto observou-se que a bateria de 12V modelo 23A é uma escolha boa apesar de que sua capacidade de fornecimento de energia esteja limitado a uma ou duas vezes de uso.

4. Conclusão

Este trabalho procurou apresentar as possibilidades de telemetria e coleta de dados com o uso dos micro controladores Arduino. Para isso foram apresentados seus modelos e suas características, bem como configurações completas de sensores e alimentação de energia, formando assim sistemas de telemetria e coleta de dados.

O emprego do Arduino neste tipo de uso é mais uma amostra da capacidade e versatilidade deste tipo de prototipagem genérica. Dessa forma foi visto que os sistemas apresentados são viáveis de implementação e possuem características eleitas para análise, como peso, consumo de energia, tamanho e capacidade de memória suficiente para atender as expectativas dos sistemas propostos.

Estes sistemas foram escolhidos conforme as necessidades básicas de uso de coleta de dados de um minifoguete experimental. Contudo podem ser variadas e os dados básicos colhidos sobre os dispositivos, podem ser atribuídos de forma a complementar outros sistemas de coleta de dados ou telemetria.

Para trabalhos futuros, o uso de baterias recarregáveis é uma opção mais econômica para a aplicação, visto que pode ser carregada e assim diminuir a quantidade de baterias empregadas. Recomenda-se que para bateria comum seja usada sempre uma bateria nova em cada lançamento, dessa forma garante-se a autonomia completa do voo.

Pode-se ainda usar bateria de uso específico adaptadas, como por exemplo as baterias para celular. Para isso é necessário um estudo prévio da sua capacidade de fornecimento e autonomia de uso.

No estudo das características do Arduino, este se mostrou adequado ao para o uso em mini foguetes, na coleta de dados e telemetria dos dados para que se tenha uma análise completa do envelope de voo. As suas características econômicas, de facilidade de aquisição e uso são considerações importantes para seu emprego nesta área e certamente que tornará mais acessível os estudos futuros sobre o voo de minifoguetes.

Referências Bibliográficas

1 MATTOS, A. N. D. **Telemetria - Conceitos Relacionados**. São José dos Campos: [s.n.], 2004.

2 GUIMARÃES, A. D. A. **Eletronica Embarcada Automotiva**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2011.

3 BANZI, M. **Getting Start with Arduino**. 2ª. ed. USA: O'REILLY, 2011.

4 ARDUINO. Arduino, 2016. Disponível em: <www.arduino.cc>. Acesso em: 15 maio 2016.

5 SOLOMAN, S. **Sensores e Sistemas de Controle na Indústria**. 2. ed. USA: LTC, 2012.

6 ADAFRUIT INDUSTRIES. **Introducing Trinket**. USA, p. 61. 2016.

7 BOSCH SENSORTEC. Datasheet - BMP180 - Digital pressure sensor, 5 abr. 2013. Disponível em: <<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.

8 MATOS, F. M. **LAE-P: tutorial de altímetro para minifoguetes**. Curitiba - PR. 2016.

9 ADAFRUIT INDUSTRIES. DHT22 TEMPERATURE-HUMIDITY SENSOR. **Adafruit**, 2016. Disponível em: <<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.

10 SUNROM TECHNOLOGIES. Sunrom Technologies. **Sunrom Technologies**, 20 jun. 2012. Disponível em: <www.sunrom.com/p-1141.html>. Acesso em: 15 maio 2016.

- 11 MEDEIROS, J. G. et al. **Sistema de monitoramento de temperatura para um ciclo Rankine com uma turbina tipo Tesla utilizando Arduino**. XIX - Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR - SICITE 2014. Medianeira - PR: Livro de resumos do XIX - Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR - SICITE. 2014.
- 12 MEDEIROS, J. G.; GUIMARÃES, L. N. F.; PLACCO, G. M. **Sistema de controle para um ciclo rankine com uma turbina tipo Tesla utilizando Arduino**. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013. Recife - PE: Livro de Resumos International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013. 2013.
- 13 SKYLAB M&C TECHNOLOGY CO., LTD. GPS Receiver Module SKM53. **SKYLAB M&C Technology Co., Ltd.**, 2016. Disponível em: <<http://skylab.com.cn/en/productview-82.html>>. Acesso em: 18 maio 2016.
- 14 ON SHINE ENTERPRISE CO., L. ON SHINE ENTERPRISE CO., LTD. **ON SHINE ENTERPRISE CO., LTD**, 2016. Disponível em: <<http://www.onshine.com.tw/>>. Acesso em: 18 maio 2016.
- 15 SHENZHEN APPCON TECHNOLOGIES CO.LTD. APPCON TECHNOLOGIES 2014. **APPCON TECHNOLOGIES 2014**, 2014. Disponível em: <<http://www.appcon.com.cn/en/productshow.php?cid=6&id=28>>. Acesso em: 18 maio 2016.
- 16 ENERGIZER. Energizer. **Energizer**, 2016. Disponível em: <<http://www.energizer.com/>>. Acesso em: 18 maio 2016.
- 17 DURACELL. Duracell Inc. **Duracell Inc.**, 2016. Disponível em: <<https://www.duracell.com/>>. Acesso em: 18 maio 2016.
- 18 MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. 1. ed. United States of America: Apress, 2010.
- 19 ATMEL. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P, 05 abr. 2016. Disponível em: <http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf>. Acesso em: 5 Abril 2016.
- 20 IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de Eletrônica Digital**. 40ª. ed. São Paulo: Érica, 2010.