

METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DE UM NANOSSATÉLITE

Nestor França de Andrade júnior¹
Petrúcio Ricardo Tavares de Medeiros²

RESUMO

Lançar nanossatélites a partir de balões estratosféricos tornou-se popular entre universidades e centros de pesquisa. No entanto, há um custo significativo para realizar uma missão de lançamento com nanossatélites, o que torna a popularização dessa atividade no ensino fundamental ou médio inviável. Propomos uma metodologia para a construção de um nanossatélite usando materiais de baixo custo. Utilizamos sensores acessíveis e de baixo custo para fabricar os subsistemas, juntamente com uma estrutura feita de poliestireno expandido para acomodar todos os componentes. Realizamos experimentos para validar o protótipo e o paraquedas propostos. O nanossatélite permite a coleta de dados de pressão, altitude, temperatura, concentração de gases e geolocalização, para ilustrar os conceitos teóricos no ensino fundamental e médio.

Palavras-chave: Nanossatélite, Baixo custo, Sensores, Evasão escolar, Paraquedas.

ABSTRACT

Launching nanosatellites from stratospheric balloons has become popular among universities and research centers. However, there is a significant cost to carry out a launch mission with nanosatellites, which makes the popularization of this activity in elementary or high school unfeasible. We propose a methodology for building a nanosatellite using low-cost materials. We use affordable and low-cost sensors to manufacture the subsystems, along with a structure made of expanded polystyrene to accommodate all components. We conducted experiments to validate the proposed prototype and parachute. The nanosatellite allows for data collection of pressure, altitude, temperature, gas concentration, and geolocation, to illustrate theoretical concepts in elementary and high school education.

Keywords: Nanosatellite, Low cost, Sensors, School dropout, Parachute.

1 INTRODUÇÃO

A legislação prevê que o Estado tem o dever de orientar a criança em sua trajetória sócio-educacional. No Brasil, o ensino médio registra a maior taxa de evasão de 5.9% durante todo o ciclo educacional do estudante (Ministério da Educação, 2023). As escolas tentam diminuir essa taxa de evasão com algumas atividades extracurriculares que possam atrair o interesse dos discentes, mas por falta de recurso financeiro e capacitação dos docentes, a execução dessas atividades acabam sendo prejudicadas. Isso faz com que a escola se torne monótona para alguns adolescentes, levando ao abandono dos estudos.

Os nanossatélites têm potencial para serem integrados em diversas áreas da grade curricular do ensino fundamental e médio. Eles podem ser usados para complementar o aprendizado por meio de imagens e dados coletados pelos sensores embarcados, enriquecendo o conteúdo e proporcionando uma maior compreensão. Além disso, a inclusão da astronomia na grade curricular poderia complementar o conhecimento dos alunos em

¹ Bacharelado em Ciência e Tecnologia

² Doutor em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

ciências exatas. Uma outra abordagem metodológica, seria envolver os estudantes na montagem de nanossatélites, o que poderia contribuir para o aprimoramento de suas habilidades técnicas e estimular sua criatividade durante o processo de construção e implementação desses dispositivos.

Neste trabalho, apresentaremos uma metodologia para construir um nanossatélite com materiais de baixo custo. Dentre os diversos tipos de nanossatélites, optou-se pelo modelo CANSAT, inspirado no formato de uma lata de refrigerante (cilíndrico), com diâmetro de 60 mm e altura de 120 mm, pesando aproximadamente 500 g (OGATA, V. et al., 2019). Nossa metodologia pode ser empregada no ensino fundamental e médio, auxiliando os professores na explicação de conceitos teóricos. Além disso, permitirá que os alunos participem de atividades extracurriculares, desenvolvendo suas habilidades de soft skills.

Na seção 2, apresentaremos trabalhos relacionados ao tema de nanossatélites no ensino fundamental e médio. Em seguida, na seção 3, detalharemos a metodologia utilizada para montar o satélite, explicando separadamente cada subsistema do nanossatélite e os componentes que foram usados em sua composição. Na seção 4, apresentaremos os resultados e discutiremos os dados coletados neste trabalho. Por fim, na seção 5, discorreremos sobre as contribuições, limitações e trabalhos futuros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Os satélites são amplamente empregados nas áreas de comunicação, exploração espacial, meteorologia, desenvolvimento de tecnologia, entre outras áreas (MARCIO DE MIRANDA SANTOS, 2018). Com a crescente demanda de aplicações que envolvem satélites, tornou-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias com intuito de reduzir os custos e simplificar o processo de produção. Os nanossatélites, que consistem em uma classe de satélites com tamanho e massa reduzidos, foram propostos para contornar essas limitações. Dentro desta classe, temos alguns tipos de satélites diferentes, cada um com um propósito específico, dentre eles os CANSATS, PocketQubes e os CubeSats.

DOS SANTOS *et al.*, (2013), utilizaram um kit de Tubesats comercializado pela empresa americana Interorbital Systems para ensinar seus alunos a montar, testar e lançar um satélite em órbita, com o objetivo de incentivar os alunos a ingressarem nas áreas de engenharia e afins. No entanto, esse kit de Tubesats apresenta um preço elevado, em torno de 8 mil dólares (preço para instituições acadêmicas), além de exigir um conhecimento técnico prévio do orientador para auxiliar na montagem.

O projeto de DA SILVA e LOPES, (2020), propôs um modelo de CubeSat 2U ($10 \times 10 \times 20$ cm) com o objetivo de validar tecnologias de subsistemas desenvolvidos por instituições governamentais ou privadas, vislumbrando sua eventual utilização comercial. No entanto, ao projetar o módulo de serviço, foram incorporados diversos subsistemas, como o de estrutura e mecanismos e o de controle térmico, cuja complexidade poderia ser reduzida para simplificar e baratear o projeto. Esses subsistemas adicionam consideravelmente ao custo final do satélite, chegando a 500 mil reais, o que dificulta a adoção dessa tecnologia para instituições de ensino fundamental e médio.

Na grade curricular das escolas do ensino fundamental e médio, diversas disciplinas e

pesquisas podem se beneficiar das funcionalidades dos satélites. No trabalho de CRISPIM e ALBANO, (2016), é proposta uma nova metodologia para o ensino de geografia, utilizando imagens obtidas por sensoriamento remoto para observar fenômenos geográficos na superfície terrestre. Da mesma forma, o trabalho de ALMEIDA e CHAVES, (2009), demonstra como as imagens de satélite foram utilizadas na educação ambiental, analisando a situação das lagoas do município de Feira de Santana em diferentes períodos de tempo. Nos dois últimos trabalhos mencionados foram utilizados dados de terceiros, dificultando a execução da metodologia empregada devido a disponibilidade do serviço.

No trabalho (DOMINGUES, *et al.*, 2022), são detalhadas as etapas de construção e instrumentação de um CubeSat. O documento especifica a construção de cada subsistema que compõe o satélite, descrevendo as funções de cada componente desses subsistemas durante a missão. A ênfase está na utilização de sensores simples devido ao baixo consumo de energia, ao custo acessível e às dimensões reduzidas, adequando-se ao modelo de satélite proposto. A estrutura física foi confeccionada com filamento de PLA (poliácido láctico), levando em consideração suas qualidades de biodegradabilidade e sustentabilidade por ser um material proveniente de fontes naturais. Entretanto, as escolas não possuem impressoras 3D e profissionais capacitados para operá-las, dificultando a construção da estrutura física do trabalho mencionado.

Tabela 1 - Comparação de trabalhos relacionados

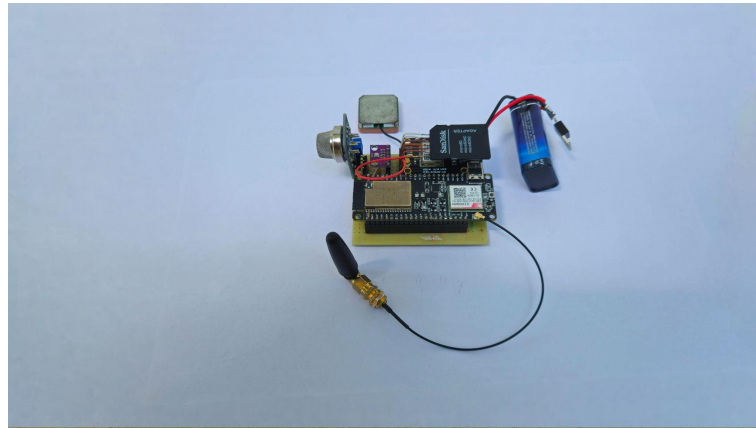
Trabalhos	Kit	Público alvo	Microcontrolador	Comunicação
DOS SANTOS <i>et al.</i>	Adquirido	Ensino fundamental	Atmega 2560	Transceptor de rádio de alta frequência
DA SILVA e LOPES, (2020)	Própria	Instituições governamentais e privadas	Não especificada	Faixa VHF/UHF
DOMINGUES, <i>et al.</i> , (2022)	Próprio	Universidades	Não especificado	Radio frequência
CRISPIM e ALBANO, (2016)	Dados de terceiros	Discentes	Não especificado	Não especificado
ALMEIDA e CHAVES, (2009)	Dados de terceiros	Discentes	Não especificado	Não especificado

Fonte: Autoria própria (2024).

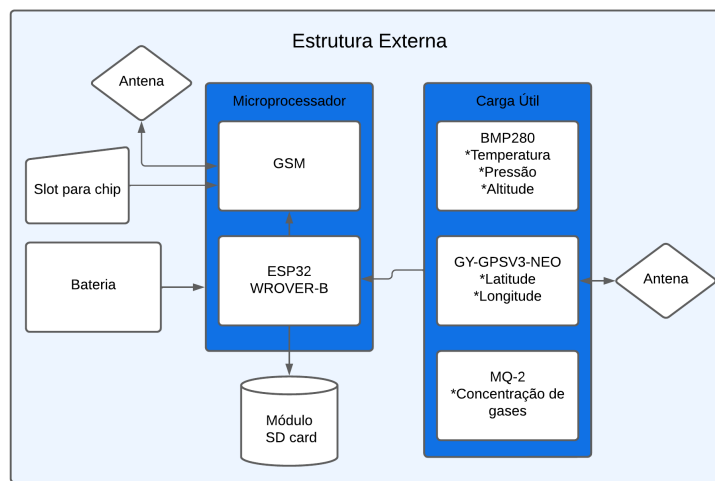
3 METODOLOGIA

Nesta seção, explicaremos como projetamos cada um dos subsistemas do nanossatélite de baixo custo, destacando os componentes utilizados para obter melhor desempenho durante a execução da missão. Para acomodar todos esses componentes, utilizamos soquetes dispostos em uma placa perfurada, como mostrado na Fig. 1a. A organização do satélite pode ser observada através da Fig. 1b.

Figura 1 - Organização do nanossatélite



(a) *Payload* do nanossatélite



(b) Organização dos componentes do satélite
Fonte: Autoria própria (2024).

2.1 Prototipação

O processo de montagem do circuito do nanossatélite proposto neste trabalho inicia-se pela conexão dos componentes. O componente ESP32-WROVER-B (microcontrolador) se conecta ao GY-GPSV3-NEO (módulo GPS) através dos pinos apresentados pela Tabela 3. O microcontrolador e o módulo GPS trocam informações por meio de uma comunicação serial. Vale salientar que utilizamos a biblioteca `HardwareSerial.h` para permitir que a comunicação fosse realizada em pinos diferentes do RX (GPIO3) e TX (GPIO1) da placa do microcontrolador. Desta forma, podemos adicionar novos módulos que exploram a comunicação serial usando pinos digitais.

Tabela 3 - Relação ESP e GPS

ESP32-WROVER-B	GY-GPSV3-NEO
5V-OUT	VCC
GND	GND
GPIO12	RX
GPIO14	TX

Fonte: Autoria própria, 2024

Na Tabela 4, é apresentada a configuração da conexão entre o ESP32-WROVER-B e o sensor BMP280, utilizando os canais de comunicação SCL e SDA do microcontrolador, conectados aos pinos 22 e 21, respectivamente. Esses pinos são utilizados pela comunicação de barramento serial *Inter-Integrated Circuit* (I²C). Neste tipo de abordagem temos uma comunicação mestre-escravo que permite inserir diversos dispositivos ao barramento. O microcontrolador assume o papel de mestre da comunicação e estabelece uma frequência de sincronização para permitir o *three handshake* entre ele e o sensor BMP280, escravo da comunicação, por meio do pino SCL. O pino SDA vai ser usado para o envio dos dados entre os dispositivos.

Tabela 4 - Relação ESP e BMP280

ESP32-WROVER-B	BMP280
5V-OUT	VCC
GND	GND
22 SCL	SCL
21 SDA	SDA

Fonte: Autoria própria, 2024

A Tabela 5 mostra a configuração da conexão entre o ESP32-WROVER-B e o sensor MQ-2, utilizando um pino de entrada analógica do microcontrolador para capturar o valor coletado pelo MQ-2. O sensor MQ-2 coleta informações de concentração de gases e pode ser bastante útil para aplicações na área de ciências da natureza. Este sensor está conectado ao conversor analógico-digital disponível no microcontrolador tem uma resolução de 12 bits.

Tabela 5 - Relação ESP e MQ-2

ESP32-WROVER-B	MQ-2
5V-OUT	VCC
GND	GND
GPIO35	A0

Fonte: Autoria própria, 2024

Um cartão SD foi utilizado para armazenar as informações coletadas pelo nanossatélite. A conexão entre o ESP32-WROVER-B e o cartão SD foi estabelecida por meio dos pinos indicados na Tabela 6. Utilizamos a conexão MISO e MOSI, e o CLOCK no SCK do microcontrolador, respectivamente localizados nos pinos 19, 23 e 18. Essa conexão permite que a comunicação entre o microcontrolador e o cartão SD seja estabelecida através do protocolo *Serial Peripheral Interface* (SPI).

Tabela 6 - Relação ESP e SD CARD

ESP32-WROVER-B	SD CARD
3V3	VCC
GND	GND GND
19 MISO	MISO
23 MOSI	MOSI
GPIO4	CS
18 SCK	CLK

Fonte: Autoria própria, 2024

2.2 Estrutura Física

A estrutura física do nanossatélite é integralmente composta por um corpo de Poliestireno Expandido (isopor), com um pequeno orifício na parte inferior para a instalação do sensor de gás MQ-2. Esse material foi selecionado principalmente por sua leveza e baixo custo de aquisição, o que facilitou a reprodução deste trabalho posteriormente. Além disso, o isopor é um bom isolante térmico, protegendo os componentes do nanossatélite contra variações bruscas de temperatura, o que poderia comprometer o funcionamento de alguns sensores.

Figura 2 - Estrutura física do nanossatélite



Fonte: Autoria própria (2024).

2.3 Telemetry, tracking and command (TT&C)

A comunicação com a estação terrestre e o controle de geolocalização são realizados pelo TT&C (DA SILVA; LOPES, 2020). Utilizamos um microcontrolador ESP32-WROVER-B com um módulo SIM800L integrado, que emprega a tecnologia GSM

para enviar um pacote contendo informações de geolocalização (latitude e longitude) para a estação terrestre. A localização nos permite rastrear o satélite durante toda a missão. Para isso, utilizamos o software orbtrack, que serve para realizar a predição e rastreamento de órbitas de satélites em tempo-real. Esse software, requer apenas a latitude e a longitude para o rastreamento e predição, permitindo assim a recuperação da carga útil para futuras aplicações.

2.4 Electrical power subsystem (ESP)

Com o satélite em órbita, ele requer um suprimento de energia para operar de forma adequada. O ESP é responsável por gerar, armazenar e fornecer energia elétrica para todos os demais subsistemas, garantindo que todos tenham um nível de potência adequado para o funcionamento (DE PAULAA; DE MAGALHÃESB, 2020). Neste trabalho, utilizamos uma bateria de 9V com capacidade de 450 mAh para fornecer a tensão necessária para os componentes. Além disso, incorporamos um regulador de tensão 7805 para reduzir a tensão de 9 V para 5 V, pois o microcontrolador ESP32-WROVER-B opera com 5 V. É importante mencionar que neste trabalho não empregamos nenhum sistema para gerar e armazenar energia durante a missão.

2.5 On board data handling (OBDH)

O OBDH é o encarregado pelo gerenciamento/controle de bordo do satélite (ALVES, A. C. R. et al., 2019). Ele é composto basicamente por um microcontrolador, memórias de armazenamento e interfaces de comunicação. Sua função é crucial para o funcionamento do satélite, pois interconecta todos os outros subsistemas por meio de barramentos e os gerencia, delegando o telecomando recebido pelo sistema de comunicações. Além disso, ele processa os dados coletados em tempo real e os envia como pacote de telemetria para a estação terrestre.

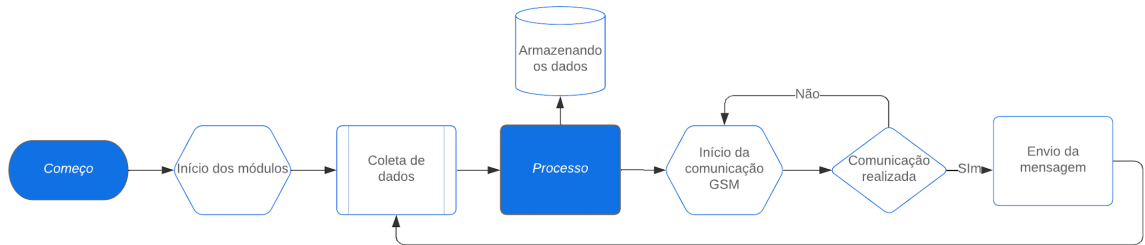
Esse subsistema é composto por um microcontrolador ESP-WROVER-B, responsável por todo o processamento de comandos e dados durante a missão, bem como pela interconexão de todos os sensores, processando e armazenando-os. Os sensores utilizados neste trabalho foram o BMP280, GY-GPSV3-NEO e o MQ-2. O sensor BMP280 é responsável pela aquisição da pressão atmosférica, altitude e temperatura aproximadas. Coletamos a longitude e latitude pelo sensor GY-GPSV3-NEO. Realizamos a detecção da concentração de gases, em partes por milhão (ppm), pelo MQ-2 e armazenamos os dados por meio de um adaptador SD CARD, que posteriormente analisaremos após o pouso do nanossatélite.

2.6 Software

O código embarcado foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino IDE na versão 2.3.2 utilizando linguagem C++. Inicialmente os módulos são configurados para funcionamento adequado. Posteriormente, o software inclui funções para coletar os dados de temperatura, pressão e altitude do módulo BMP280, assim como a longitude e latitude do módulo GY-GPSV3-NEO. Além disso, foram implementadas funções para determinar a concentração dos gases inflamáveis e de fumaça usando o sensor MQ-2. Esses dados foram armazenados no adaptador SD CARD por meio da edição de um arquivo de texto previamente criado pelo software na função setup. Para permitir a recuperação e rastreamento do

nanossatélite, se fez necessário a implementação de rotinas de envio da geolocalização através do módulo GSM. O código foi estruturado conforme a Fig. 3.

Figura 3 - Fluxograma do funcionamento do software



Fonte: Autoria própria (2024).

2.7 Paraquedas

Realizaremos o lançamento do satélite através de um balão estratosférico inflado com gás hélio. O hélio é um gás nobre menos denso que o ar atmosférico possibilitando a subida do nanossatélite. Após o balão estratosférico explodir devido a diferença de pressão, o nanossatélite iniciará uma queda livre devido à força da gravidade. Durante a queda, duas forças atuam sobre o satélite: a própria gravidade e o arrasto. O arrasto é uma força que age oposta à queda, então, quanto maior o arrasto, menor será a velocidade de descida (NASA, 2022), garantindo que o objeto pouse sem muitos danos.

Buscando aumentar o arrasto, utilizamos um paraquedas com formato de um octógono regular e área de 0.233 m^2 . Para determinar a área ideal do velame do paraquedas, algumas definições foram usadas. A primeira delas é que uma velocidade terminal apropriada seria de 3,35 a 4,26 m/s (BROHM, J.R., 2004). Com essa velocidade e mais algumas informações, como a massa do objeto que será desacelerado pelo paraquedas e a densidade do ar, já é possível determinar o diâmetro do velame. O artigo (BROHM, J.R., 2004) nos fornece uma fórmula para definir esse valor.

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot m}{n \cdot \rho \cdot C_d \cdot V^2 \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{n}\right)}} \quad (1)$$

Onde d representa a diagonal de um vértice a outro do velame, g é a aceleração da gravidade, m é a massa do satélite, n é o número de partes que o velame terá, ρ sendo a densidade do ar ao nível do mar, C_d é o coeficiente de arrasto do paraquedas e V é a velocidade terminal do satélite. Na Tabela 2 contém os valores adotados para cada variável da Eq. (1).

Tabela 2 - Valores das variáveis usados para calcular o diâmetro

Variável	$d(m)$	$g(m/s^2)$	$m(g)$	n	$\rho(g^3)$	C_d	$V(m/s)$
Valor	0.574	9.81	122.4	8	1224	0.75	3.35

Fonte: Autoria própria (2024).

Com o valor da diagonal, podemos determinar a área do paraquedas utilizando a Eq. (2).

$$A_p = \frac{n \cdot d^2}{8} \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{n}\right) \quad (2)$$

Onde d é a diagonal determinada pela Eq. (1), e n é a quantidade de partes do velame.

Definimos o comprimento de 62 cm para o cabeamento de conexão entre o nanossatélite e o paraquedas com uma linha $n^\circ 10$.

Na Fig. 3 é apresentado o paraquedas utilizado nos testes.

Figura 3 - Paraquedas



Fonte: Autoria própria (2024).

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Realizamos dois experimentos com o *payload* do nanossatélite desenvolvido. O primeiro ocorreu dentro da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Fig. 6a, um ambiente com baixa poluição, onde testamos os sensores e a comunicação GSM. No segundo experimento, expusemos o *payload* do satélite a um ambiente com maior poluição, especificamente no centro da cidade de Pau dos Ferros - RN Fig. 6b.

Figura 6 - Locais onde foram realizados os experimentos



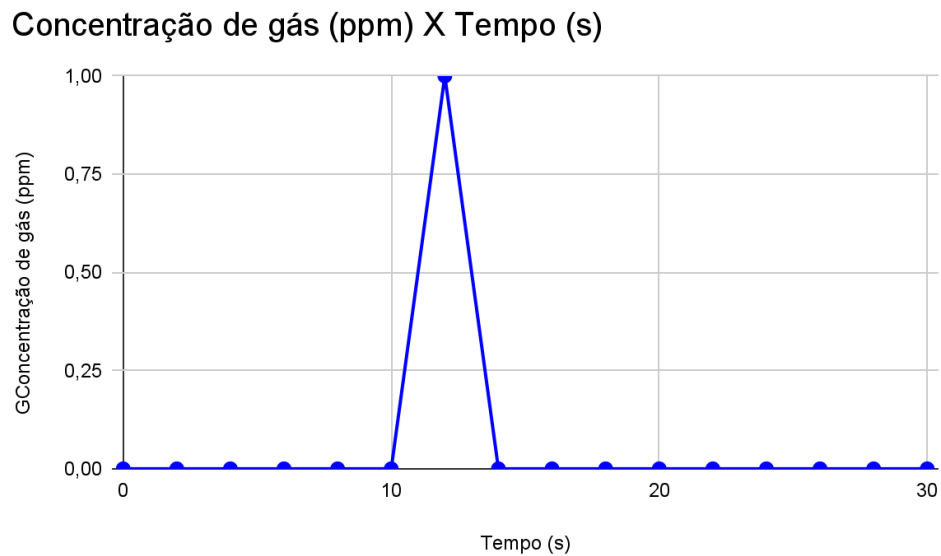
(a) Centro de Convivência

(b) Centro de Pau dos Ferros - RN

Fonte: Autoria própria (2024).

No primeiro experimento, a coleta de dados ocorreu no centro de convivência da UFERSA, caracterizado pela alta concentração de pessoas. Nesse ambiente, foram coletados dados de altitude, temperatura, pressão, concentração de gás, longitude e latitude. Além disso, realizou-se a comunicação via GSM, enviando a localização (longitude e latitude) para um celular. O gráfico da Fig. 7 exibe os dados da concentração de gás ao longo de um período de 30 segundos, enquanto a Tabela 7 apresenta os demais parâmetros coletados.

Figura 7 - Concentração de gás X tempo (UFERSA)



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 7 - Outros parâmetros (UFERSA)

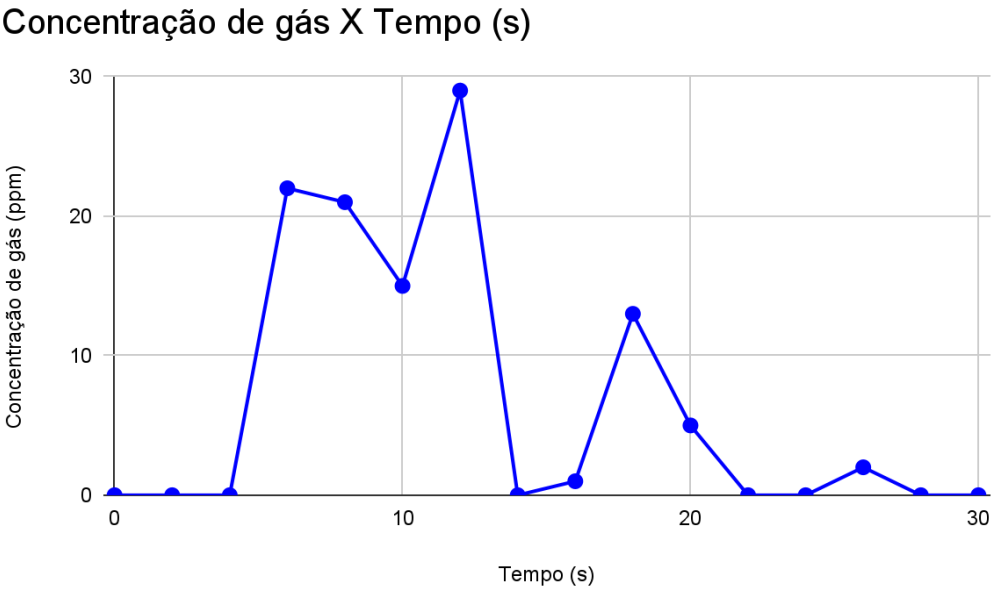
Tempo (s)	Altitude (m)	Pressão (Pa)	Temperatura (C°)
0	224.85	98650.70	34.29
2	224.96	98652.02	34.29
4	225.00	98651.58	34.30
6	224.91	98652.58	34.32
8	224.93	98652.36	34.30
10	224.98	98651.75	34.29
12	224.62	98653.38	34.29

14	224.68	98655.28	34.30
16	224.64	98655.83	34.28
18	224.78	98654.17	34.30
20	224.95	98652.09	34.29
22	225.07	98650.70	34.31
24	224.67	98655.38	34.32
26	224.60	98656.27	34.34
28	224.68	98655.28	34.36
30	224.71	98654.90	34.40

Fonte: Autoria própria (2024).

No segundo experimento, levamos o *payload* do nanossatélite para o centro da cidade de Pau dos Ferros - RN. Nessa área, obtivemos resultados relativos à temperatura, pressão, altitude e concentração dos gases. O gráfico da Fig. 8 apresenta os resultados da concentração de gases ao longo de um período de coleta de 30 segundos. Na Tabela 8, estão registrados os dados dos demais parâmetros coletados durante o mesmo período de tempo.

Figura 8 - Concentração de gás X tempo (centro da cidade)



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 8 - Outros parâmetros (centro da cidade)

Tempo (s)	Altitude (m)	Pressão (Pa)	Temperatura (C°)
0	204.77	98889.53	35.08
2	204.87	98888.37	35.16
4	204.84	98888.72	35.21
6	205.18	98884.74	35.25

8	204.89	98888.17	35.28
10	205.02	98886.61	35.32
12	204.78	98889.48	35.34
14	204.97	98887.14	35.37
16	204.89	98888.19	35.40
18	204.93	98887.64	35.42
20	204.98	98887.11	35.44
22	205.09	98885.75	35.47
24	205.20	98884.52	35.49
26	205.04	98886.41	35.52
28	205.03	98886.45	35.55
30	205.08	98885.95	35.57

Fonte: Autoria própria (2024).

O sensor MQ-2 é capaz de detectar uma variedade de gases, incluindo GLP (gás de cozinha), metano, propano, butano, hidrogênio, álcool e fumaça de cigarro, determinando a concentração desses gases em partes por milhão. Para os testes, o resistor variável do MQ-2 tinha o valor de 1.5 kΩ. Analisando a Figura 8, observamos que na UFERSA não houve uma alta concentração de gases, exceto pelo pico registrado quando o ônibus universitário passou próximo ao centro de convivência. Já na Figura 9, notamos uma diferença significativa em relação à coleta realizada na UFERSA. Os níveis de concentração variaram consideravelmente devido ao tráfego de veículos a combustão no local, o que resultou em uma maior poluição do ar.

Para validar a temperatura nos dois casos, utilizamos o aplicativo Clima disponível em dispositivos móveis da marca Samsung. No primeiro caso, a temperatura captada pelo sensor ficou em torno de 34.3°C, enquanto o aplicativo Clima indicava 33°C. No segundo caso, a temperatura captada pelo sensor foi de 35.3°C, enquanto o aplicativo registrava 32°C. Quanto à altitude, medida a partir do nível do mar, ela variou de 225.07 a 204.77 metros para a UFERSA e o centro da cidade, respectivamente. Validamos a altitude por meio do site Cidade-Brasil³, onde a altitude de Pau dos Ferros - RN foi estimada em cerca de 196 metros acima do nível do mar. A pressão apresentou uma variação mínima, com apenas 238.83 Pa de diferença entre o maior e o menor resultado, representando apenas 0.24% do valor bruto. A partir disso, concluímos que o sensor BMP280 proporciona uma boa aproximação dos valores reais dos parâmetros obtidos.

A coleta da geolocalização na UFERSA nos deu os seguintes resultados: longitude = -38.1830968 e latitude = -6.105043. Com o auxílio do software Orbtrack, pudemos verificar que o sensor GY-GPSV3-NEO fornece uma localização precisa do nanossatélite, mesmo

³ Cidade-Brasil é um website disponível no link:

<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-pau-dos-ferros.html>, acessado no dia 18 de abril de 2024.

com a redução na quantidade de casas decimais especificadas que o sensor pode fornecer.

Realizamos o teste do paraquedas soltando-o de uma altura de 655 cm (6.55 m), utilizando um isopor similar ao utilizado no nanossatélite, com alguns pesos em seu interior para simular o peso de 122.4 g quando o nanossatélite está com todos os componentes dentro. Na Fig. 9, é possível visualizar o paraquedas durante a queda.

Figura 9 - Teste de arrasto do paraquedas desenvolvido



Fonte: Autoria própria (2024).

5 CONCLUSÕES

A detecção da concentração de gases realizada na UFERSA e no centro da cidade de Pau dos Ferros - RN correspondeu às expectativas previstas, evidenciando uma maior poluição na área com maior tráfego de veículos automotores, devido à combustão realizada. Isso comprova a eficácia do sensor MQ-2.

O sensor BMP280, responsável pela coleta de pressão, temperatura e altitude, demonstrou um bom desempenho durante os testes, fornecendo dados com uma margem de variância baixa em relação aos dados de referência, o que evidencia sua confiabilidade na coleta de dados. Por outro lado, o GY-GPSV3-NEO apresentou a maior precisão entre os sensores testados. No entanto, ele possui uma limitação significativa em relação à sua sincronização, pois depende da presença de outros satélites na área para se comunicar e detectar a localização com precisão.

O envio da longitude e latitude pelo padrão GSM para um celular foi bem-sucedido, porém é importante ressaltar que o GSM apresenta algumas limitações que podem dificultar

sua utilização. A inicialização do sistema pode demorar, dependendo das condições do satélite, como a disponibilidade de cobertura da operadora do chip utilizado, o alcance da antena para receber o sinal e a formatação correta da mensagem para o envio. Todos esses fatores podem impossibilitar o envio da mensagem.

Os testes foram realizados com o satélite conectado a uma fonte de energia externa. Infelizmente, não foi possível efetuar o lançamento do satélite devido ao alto consumo de energia, que excedeu a estimativa inicial baseada no uso de uma bateria de 9 V como fonte de alimentação. Para resolver esse problema, seria necessário desenvolver um módulo de armazenamento de energia, contendo células de bateria, e implementar a geração de energia durante a missão por meio de painéis fotovoltaicos instalados na parte externa do nanossatélite.

O experimento realizado com o paraquedas confirmou que as dimensões do velame calculadas pela Eq. (1) estavam corretas, aumentando o arrasto do corpo até um ponto em que a queda não danifica a estrutura quando o corpo atinge o solo. Além disso, a estrutura física do nanossatélite também desempenhou seu papel de acomodar e proteger os componentes, mesmo após a colisão com o solo.

No geral, o nanossatélite obteve resultados promissores, destacando-se especialmente pelo custo acessível e pela simplicidade de implementação. Isso o torna uma opção viável para escolas de ensino fundamental e médio integrarem-se em suas grades curriculares, oferecendo aos alunos a oportunidade de participar de atividades extracurriculares cujos resultados podem ser aplicados em diversas disciplinas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Aline Souza; CHAVES, Joselisa Maria. O uso de imagens de satélite nas atividades de educação ambiental no município de Feira de Santana-Ba. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14º, Natal**, p. 2357-2364, 2009.

ALVES, A. C. R. et al. CONASAT-0: Visão Geral do Nanossatélite Desenvolvido. In: **II Congresso Aeroespacial Brasileiro-CAB2019, Santa Maria-RS**. 2019. p. 1-9.

BROHM, J.R.. *The Mathematics of Flat Parachutes*. Data: 4 de setembro de 2004. Disponível em: <https://www.rocketshoppe.com/info/The_Mathematics_of_Parachutes.pdf>. Acesso em 28 de mar. de 2024.

CRISPIM, Livia Corrêa; ALBANO, Angel. O uso das imagens de satélite como recurso didático no ensino de geografia. **Pesquisar–Revista de Estudos e Pesquisas em Ensino de Geografia**, v. 3, n. 4, p. 46-57, 2016.

DA SILVA, Eduardo Henrique; LOPES, João Luiz Dallamuta. Proposta de um CubeSat universitário para desenvolvimento de tecnologias espaciais nacionais. 2020.

DE PAULA A., Elaine de Souza Ferreira; DE MAGALHÃES B., Renato Oliveira. ANÁLISE DE BALANÇO DE POTÊNCIA, PROJETO PRELIMINAR DE PAINEL SOLAR E DIMENSIONAMENTO DE BATERIA DE UM CUBESAT 3U PARA DETECÇÃO DE

RAIOS.

DOMINGUES, Carlos VB; BRITO, Crystopher C.; DIAZ, Julian AA. Instrumentação de um Satélite Universitário-Cubesat. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 9, n. 1, 2022.

DOS SANTOS, Walter Abrahão et al. UbaTubeSat: MONTAGEM, INTEGRAÇÃO, TESTES, CODIFICAÇÃO E LANÇAMENTO DE UM PICOSATÉLITE EDUCACIONAL COMO INDUTOR EM ENGENHARIA AEROESPACIAL. In: **Proceedings of COPEC World Congress**. 2013.

MARCIO DE MIRANDA SANTOS. CubeSats. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - Cgee, 2018. 46 p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/3111_CGEE_resumoexecutivo_CubeSats_web.pdf/d25668f5-4d98-411c-b79a-e7f6f369d7bd?version=2.3. Acesso em: 25 out. 2023.

Ministério da Educação (MEC). Dados do Censo Escolar 2023 e indicadores da educação básica. Divulgada em 22 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202402/ensino-medio-tem-maior-taxa-de-evasao-da-educacao-basica>>. Acesso em 02 de abr. de 2024.

NASA. Falling Object with Air Resistance. Data: 29 de julho de 2022. Disponível em: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/falling-object-with-air-resistance/#>>. Acesso em 17 de mar. 2024.

OGATA, V. et al. Desenvolvimento de um satélite de pequeno porte do tipo CanSat empregando componentes de prateleira. In: **Conferencia: X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, São José dos Campos: INPE**. 2019.