

COMPARATIVO DE DESEMPENHO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS NA CONCEPÇÃO DE SENSORES SOLARES PARA O CUBESAT-IMT

Thalles Demétrio Ferreira Santos ¹; Alessandro de Oliveira Santos ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Dando sequência no entusiasmado cenário proposto pela missão brasileira Garatêa-L, o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), através do Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados (NSEE), se mantém atuante no fomento às pesquisas relacionadas ao setor aeroespacial. Dentre os principais projetos destaca-se o CubeSat. Mantendo-se o foco em seus subsistemas de orientação, esta iniciação teve por objetivo dar continuidade aos estudos relacionados à concepção de sensores solares propostos por trabalhos acadêmicos anteriores. Partindo-se desta premissa, realizaram-se estudos teóricos e práticos referentes a seleção, tratamento e estruturação de uma rede de sensores de luminosidade que fosse capaz de colaborar com o sistema de orientação do CubeSat – IMT.*

Introdução

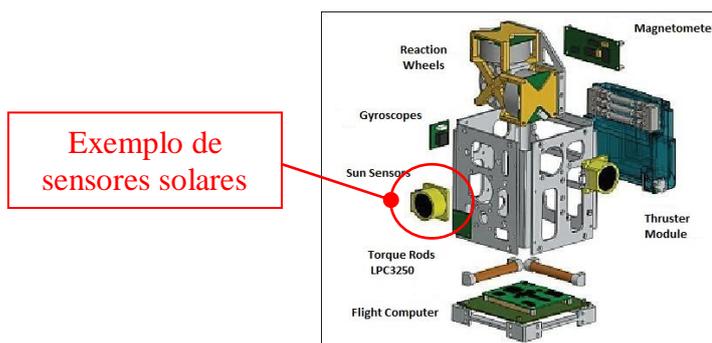
Este relatório refere-se aos resultados obtidos no decorrer do Programa de Iniciação Científica 2019, proposto pelo Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados do Instituto Mauá de Tecnologia (NSEE-IMT). Neste trabalho serão apresentados o método utilizado na concepção do projeto, os componentes e instrumentos de medição utilizados, o detalhamento de execução das montagens, assim como, os resultados encontrados devidamente comentados.

Para fins de registro, este relatório representa a continuação dos trabalhos propostos pela Iniciação Científica do aluno César Abraham Flores Cisneros Filho, realizada em 2017.

Avaliando as possibilidades de investimento em tecnologias para o CubeSat, um dos subsistemas que se destaca é o de orientação baseado no sol, que tem como função auxiliar o satélite a obter a melhor posição para que seus painéis solares obtenham máxima eficiência na hora da recarga e também para controle de atitude do mesmo. Sendo esse o enfoque desta iniciação científica, que tem como intuito estudar na teoria e na prática um sensoriamento solar que não tenha um valor tão caro como os que existem atualmente no mercado. No site de vendas CubeSatShop, há sensores solares que são vendidos em média por US\$ 5.940,00 (CUBESAT SHOP,2019). Um exemplo de sensor solar para cubesat pode ser visto na figura 1.

O objetivo principal desta Iniciação Científica é elaborar e desenvolver um hardware capaz de estruturar e possibilitar um experimento capaz de comparar o desempenho de tecnologias alternativas na concepção de sensores solares para o CubeSat-IMT.

Figura 1: Exemplo de utilização de sensor solar comercial.



Material e Métodos

Baseado nos resultados obtidos com os estudos sobre sensores de luminosidade realizados em trabalhos anteriores (Flores, 2017) (CALLEGARE, 2019), permitiu selecionar três tecnologias alternativas para a concepção dos sensores solares: a pastilha semicondutora de um transistor 2N3055, o fototransistor TIL78 e o resistor fotosensível conhecido como LDR.

O transistor NPN 2N3055, é considerado um componente de potência e apresenta encapsulamento TO-3. Para o projeto o que interessava era a sua pequena pastilha de silício, que se encontrava, devidamente protegida, no interior do componente, vide figura 2.

Figura 2: À esquerda, componente sem a carcaça, com o chip de silício exposto e; à direita, o componente na íntegra.



O Fototransistor modelo TIL78 apresenta sensibilidade ao espectro infravermelho e possui dois terminais que correspondem ao coletor e emissor. Quando não está na presença de luz o TIL 78 age como se fosse um contato aberto, portanto, não há passagem de corrente do coletor para emissor. A passagem de corrente depende da quantidade de infravermelho a que o componente é exposto (TIL78 fototransistor, 2019). Quando saturado, tem comportamento parecido com um curto circuito, ou seja, apresenta uma baixa resistência entre seus terminais. Já o LDR (*Light Dependent Resistor*) é um componente que tem como principal característica, a variação de sua resistência de acordo com a intensidade de luz incidente. Grande parte deles tem uma maior sensibilidade a luzes visíveis (comprimentos de onda entre 380 nm e 750 nm). Basicamente, quando fótons atingem o material sua condutividade aumenta e, conseqüentemente, sua resistência abaixa (LDR datasheet, 2019). Neste projeto utilizou-se o modelo de 5 mm de diâmetro, vide figura 3.

Figura 3: Componentes candidatos a elementos sensores alternativos.



Existiam muitas possibilidades para a concepção do projeto. Sendo assim, algumas especificações tiveram de ser, arbitrariamente, impostas para que o projeto adquirisse estrutura. As principais especificações e premissas de projeto adotadas para a elaboração deste desenvolvimento foram as seguintes:

- ✓ A estrutura montada deve ser compacta, de modo a permitir, eventualmente, a utilização da mesma como carga útil experimental em uma das missões do balão HAB Mauá;
- ✓ Para evitar a dependência de equipamentos e/ou recursos externos que pudessem comprometer o desenvolvimento das atividades, todas as placas eletrônicas devem ser artesanalmente confeccionadas, nas dependências da EEM. As placas podem ser de fenolite ou fibra de vidro, em modelos padrão para prototipagem ou corroídas em perclororeto;
- ✓ A estrutura deve ter formato cúbico semelhante a um cubesat;
- ✓ Todas as faces da estrutura devem conter múltiplos sensores alternativos, para permitir a comparação entre seus desempenhos e possibilitar a orientação vetorial do conjunto;
- ✓ Todas as faces devem ser compostas por placas semelhantes, equivalentes e intercambiáveis. Seus respectivos endereçamentos devem ser realizados eletronicamente através do barramento comum de comunicação;
- ✓ Todo o controle e o gerenciamento das seis faces devem ser realizados por módulo eletrônico microcontrolado, comercial ou proprietário;
- ✓ O módulo de controle deve ser alocado internamente, de acordo com o espaço disponível;
- ✓ O experimento deve ter autonomia, para operação e aquisição de dados, de no mínimo 2 horas ou seguir o tempo especificado de acordo com o plano de vôo do balão HAB Mauá;
- ✓ O experimento deve ter memória suficiente para armazenar as medições das seis faces, com uma taxa de amostragem mínima de uma aquisição por minuto, por canal.

Após a etapa de análise e definição das especificações deu-se início à etapa de concepção do projeto. Esta etapa subdividiu o projeto em planejamento mecânico e eletrônico. No planejamento mecânico, os estudos foram direcionados no sentido de avaliar todas as dificuldades impostas pelas especificações de projeto, principalmente, o item referente à equivalência e intercambialidade das faces. Com relação ao planejamento eletrônico, os esforços foram voltados diretamente à concepção do hardware, enfatizando o tratamento analógico e a leitura digital dos inúmeros sensores.

Resultados e Discussão

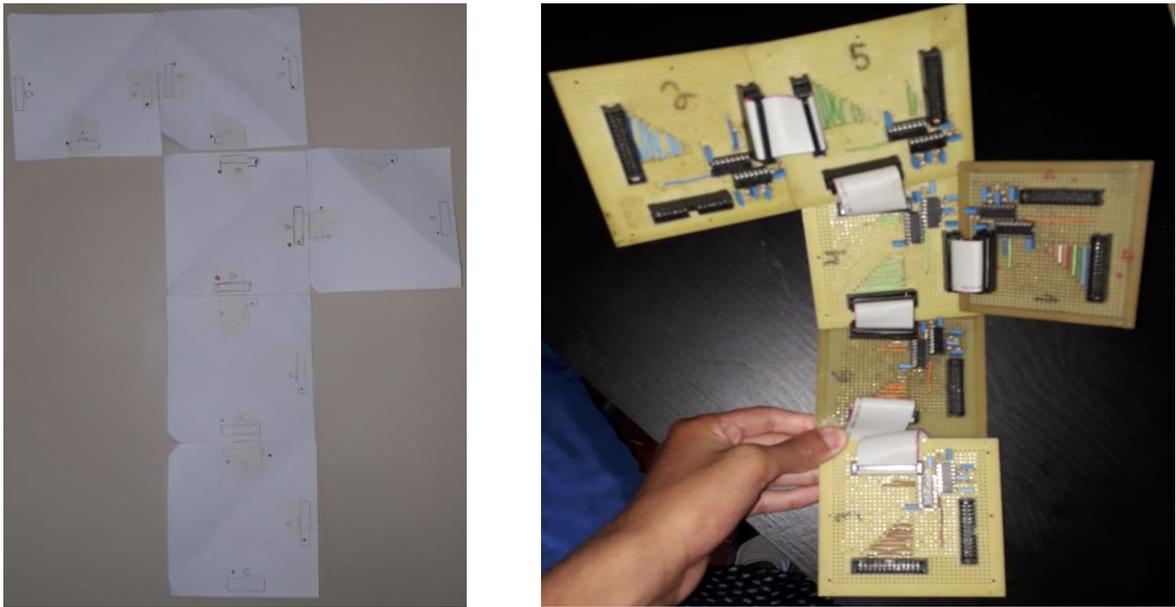
De acordo com os estudos anteriores, existiriam duas possibilidades de se utilizar o transistor 2N3055 como elemento sensor: a primeira, seria aproveitar a tensão induzida pela junção VBE (Tensão Base-Emissor), a segunda seria utilizar a variação de resistência entre os terminais do coletor e emissor. A ideia era utilizar a pastilha de silício do semicondutor como o elemento sensor.

Como pôde ser observado na figura 2, eram necessárias algumas etapas prévias de usinagem, para eliminar a blindagem e transformar o transistor em um transdutor de luminosidade. Isso associado à surpresa de, nos transistores de alguns fabricantes, encontrar uma espécie de silicone no entorno da pastilha que impossibilitava a utilização, ou mesmo, o reaproveitamento do mesmo, acabou inviabilizando a adoção da pastilha do 2N3055 como possível candidato a sensor solar. Então, diante deste problema e, para que o planejamento eletrônico não sofresse muitas alterações, optou-se pela substituição da proposta com o transistor 2N3055, pela duplicação dos demais sensores. Tal fato acabou não sendo considerado um problema pois, proporcionou redundância e ampliou o universo de amostras e possibilidades estatísticas.

Com relação às placas eletrônicas, em virtude, da facilidade e disponibilidade dos materiais, optou-se pela adoção das placas universais de prototipagem padrão ilhas. Versatilidade fundamental que corroborou em muito com a confecção do conjunto.

Muitos estudos relacionados às posições de conectores e barramentos foram considerados para que as faces ou “pétalas”, como são chamadas, fossem endereçáveis pelo mesmo barramento, equivalentes e intercambiáveis, vide figura 4.

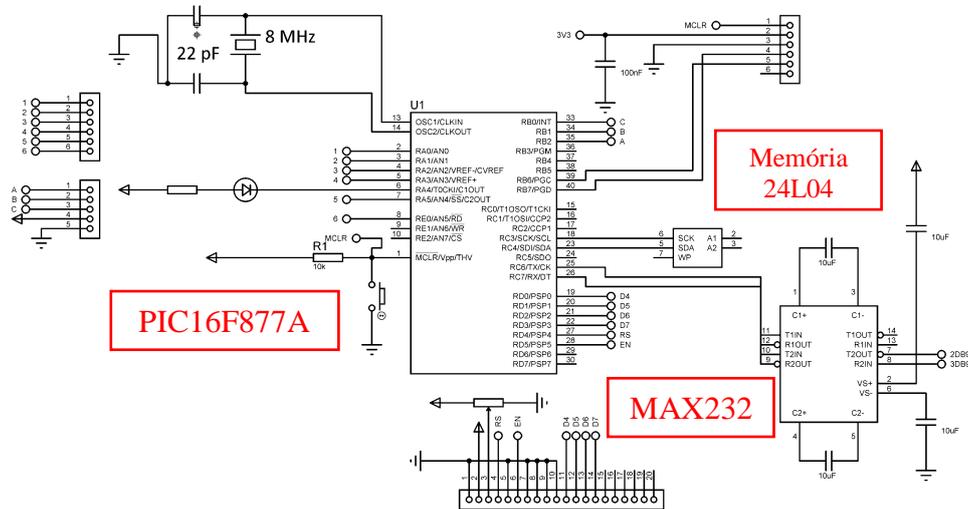
Figura 4: Detalhe dos estudos de planificação referentes à interligação das múltiplas faces.



Para o desenvolvimento do módulo eletrônico de controle e gerenciamento, pelo desafio e pela oportunidade didática, optou por uma montagem proprietária. Em virtude, dos conhecimentos prévios do autor, o microcontrolador selecionado foi o modelo MICROCHIP 16F877A (PIC 16F877A datasheet).

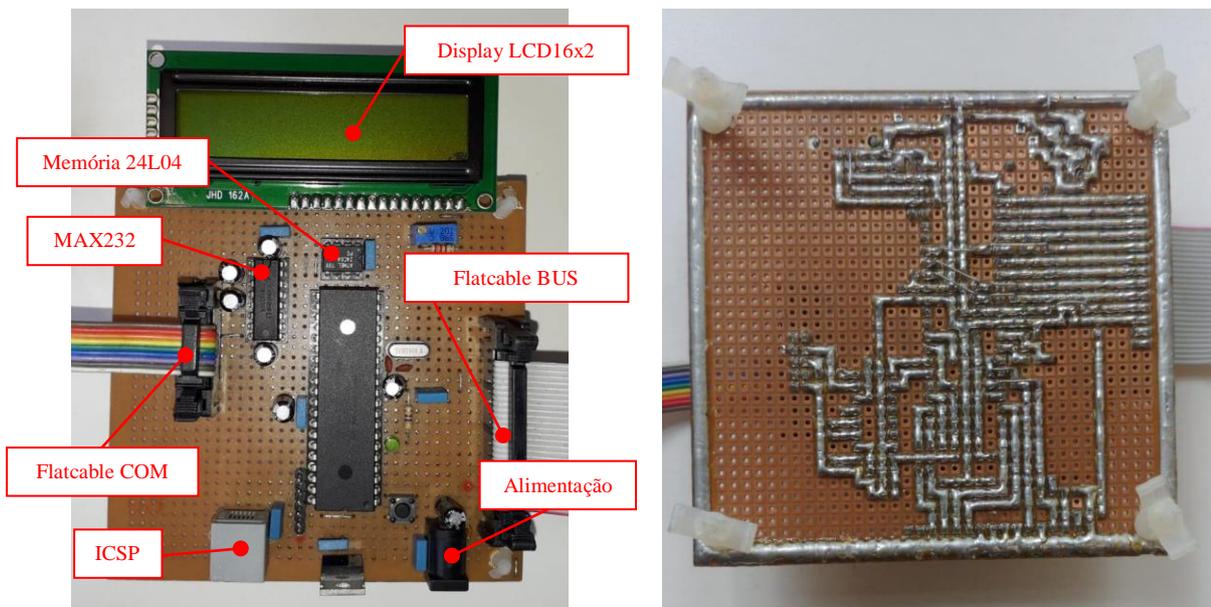
Para que fosse possível programar, debugar e avaliar as medições sem a necessidade de um notebook e/ou microcomputador, contemplou-se para o hardware, circuitos de ICSP (In-Circuit Serial Programming), comunicação serial (Transceiver MAX232) e um Display LCD 16 colunas por 2 linhas. Para o armazenamento, utilizou-se uma memória serial, com comunicação I2C modelo 24L04, com capacidade de 4kwords de memória. O cristal utilizado na geração dos *clocks* para o microcontrolador foi de 8 MHz. Para a alimentação do conjunto, foram previstas duas possibilidades de fontes: Bateria de 9 V para uso embarcado e jack para fonte de laboratório ou adaptador AC com saída de 9V. O esquema elétrico simulado e adotado para o módulo controlador pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5: Esquema eletrônico do Módulo de Controle e Gerenciamento.



Todos os módulos foram concebidos para serem interligados através de flatcables. Além do conector para o flatcable 26 vias, responsável pela interligação dos barramentos, o módulo principal de controle ainda possui um conector para flatcable de 10 vias, utilizado para a comunicação serial padrão RS232, vide figura 6.

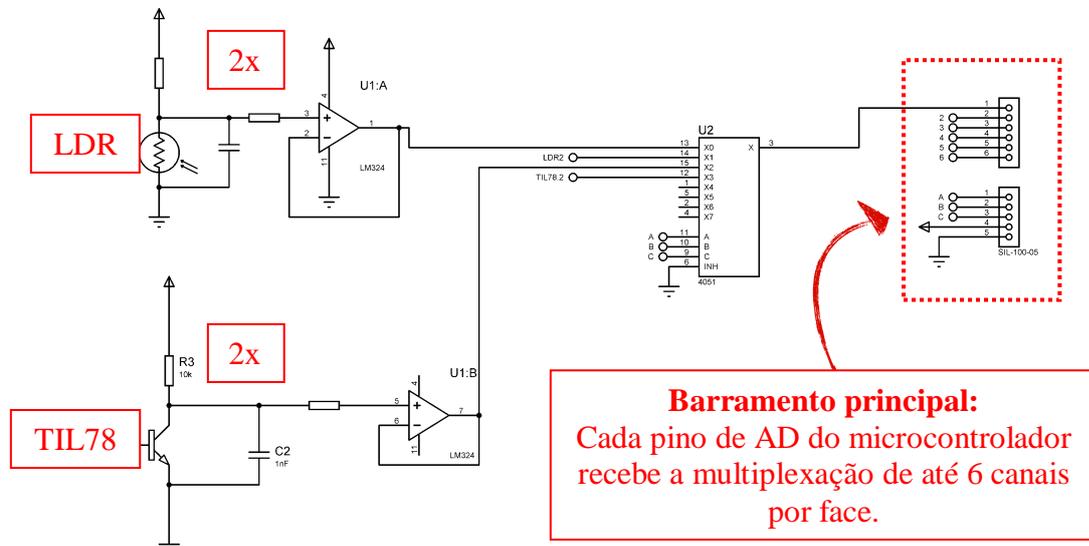
Figura 6: Detalhes construtivos referentes ao Módulo de Controle, vistas lado componentes e lado solda.



Como o transistor 2N3055 foi descartado, cada uma das pétalas foi concebida para abrigar dois conjuntos de sensores, ou seja, dois sensores a base de Fototransistores TIL78 e outros dois a base de LDRs. Os circuitos elementares para tratamento e adequação dos sinais analógicos eram

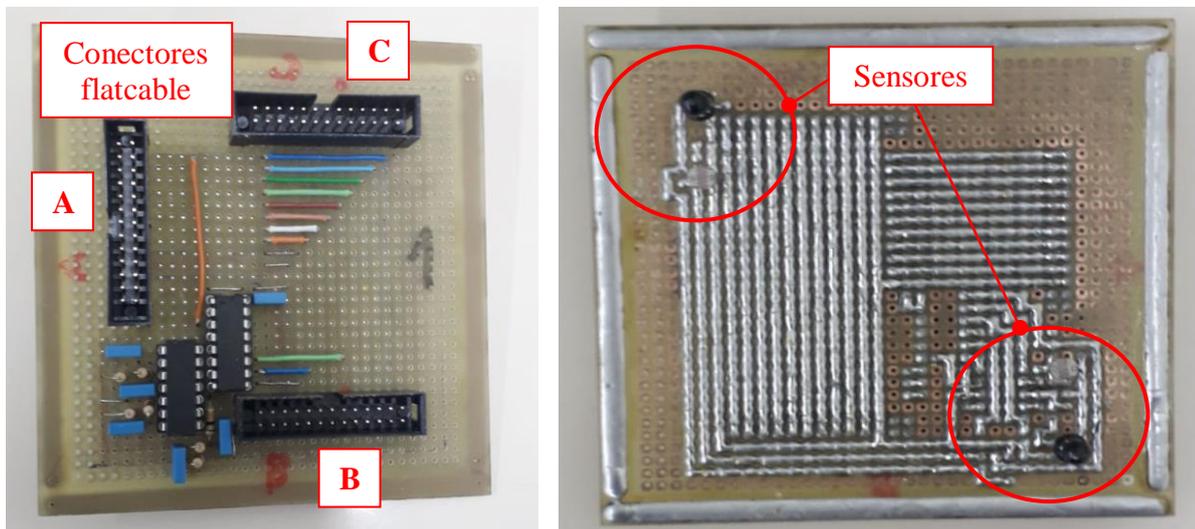
compostos por amplificadores operacionais de uso geral modelo LM324. Já para o controle do barramento e gerenciamento dos canais analógicos, optou-se pelo conjunto endereçável e multiplexado de chaves analógicas, modelo CD4051, vide figura 7.

Figura 7: Esquema eletrônico dos múltiplos Módulos de Sensores.



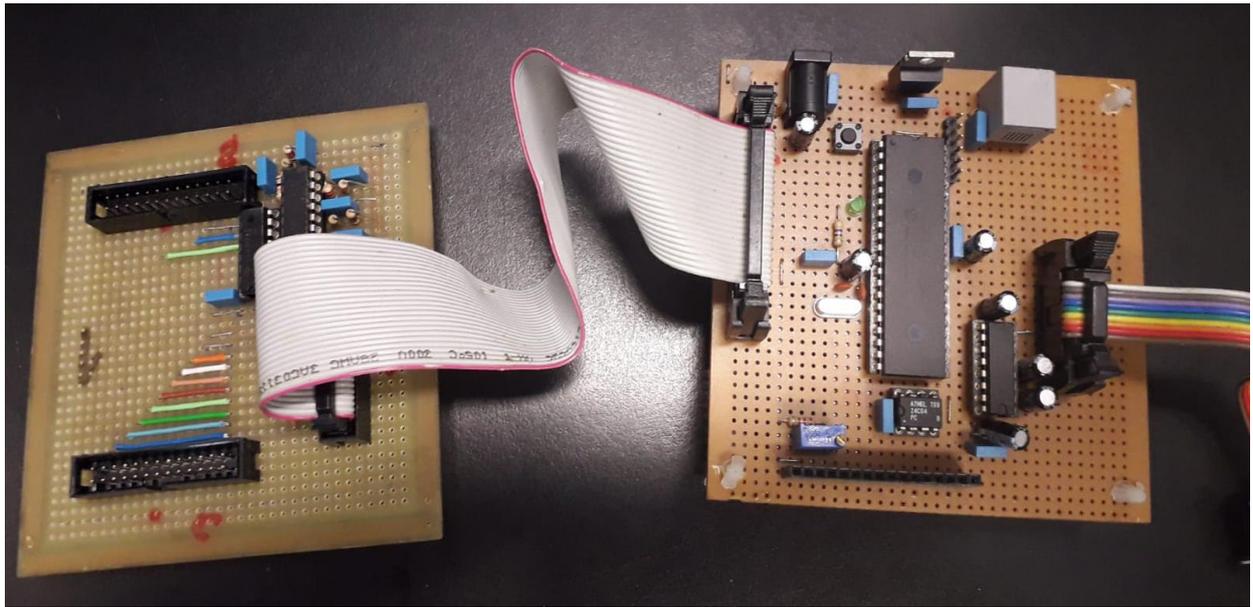
Conforme as premissas do projeto, todos os módulos foram concebidos para serem equivalentes e intercambiáveis. Três conectores para cabos flatcable de 26 vias, proporcionam tal funcionalidade. Por uma questão de robustez, todos os conectores de barramento tiveram seus terminais curto-circuitados, de modo a duplicar as interligações, oferecendo redundância a cada uma das conexões, vide figura 8.

Figura 8: Detalhes construtivos referentes aos Módulos de Sensores, vistas lado componentes e lado solda.



Mesmo não pertencendo aos objetivos desta iniciação, houve uma tentativa de avançar no projeto, no sentido participar mais ativamente no desenvolvimento do experimento. Para isso realizaram várias tentativas de operacionalizar todos os módulos, contudo, durante o processo foram encontradas diversas dificuldades. Uma dessas dificuldades o foi a programação do PIC16F877A. Os conhecimentos na linguagem Assembly e C voltados para o microcontrolador se mostraram insuficientes, principalmente, nos temas relacionados ao tratamento de interrupções, conversão analógica digital e nas comunicações seriais I2C e RS232.

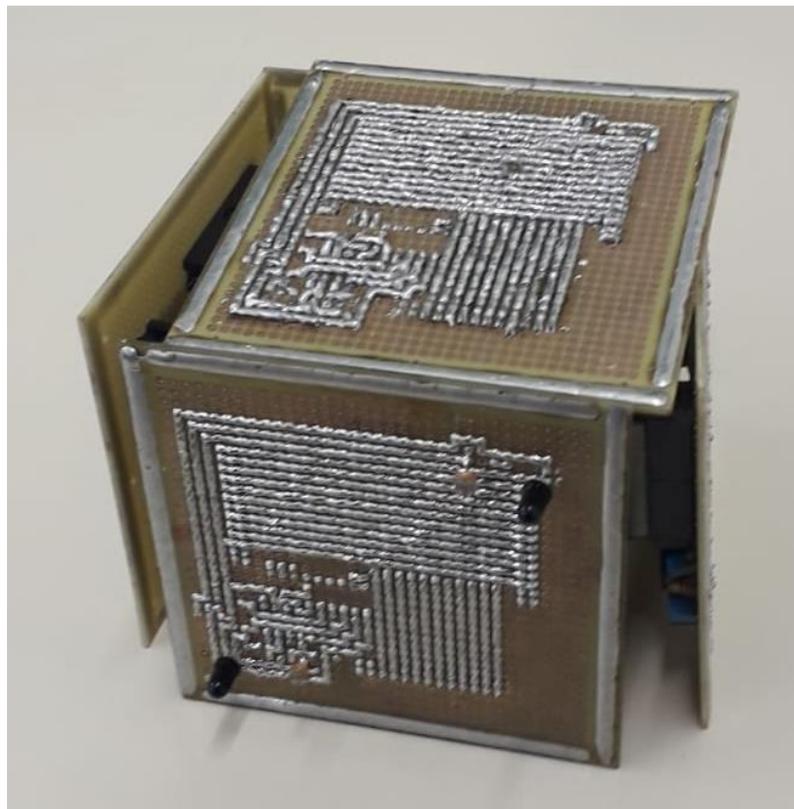
Figura 9: Interligação do Módulo de Controle com um dos Módulos de Sensores.



Todas as placas foram montadas e testadas de acordo com as funcionalidades projetadas. Todas as alimentações foram medidas e confirmadas, de modo que, todos os circuitos e subsistemas foram checados e, aparentemente, estão perfeitos e aguardando a programação de firmware adequado.

A interligação dos barramentos associada à montagem mecânica gerou uma estrutura cúbica, exatamente como o especificado, vide figura 10. Entretanto, sugere-se projetar, nas impressoras 3D, cantoneiras plásticas para acabamento e estruturação do conjunto.

Figura 10: Detalhe da montagem final do experimento.



Deve-se ressaltar que, mesmo não tendo conseguido avançar satisfatoriamente na programação do firmware, os resultados obtidos com a programação do microcontrolador foram inspiradores. Visualizar o led do *heartbeat* piscando no módulo de controle foi simplesmente fantástico. Poder desenvolver e programar o próprio hardware foi motivo de grande orgulho e satisfação pessoal.

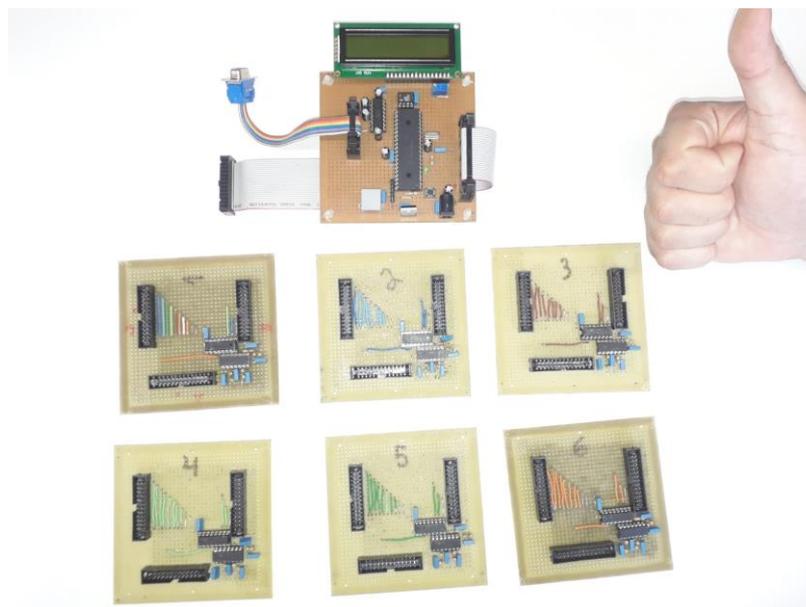
Conclusões

Tendo como base os resultados finais, conclui-se que o objetivo principal foi atingido com êxito. Uma vez o projeto final representa na íntegra o conjunto de especificações proposto, vide figura 11.

Contudo, é necessário dizer que ainda existem pontos a serem melhorados, ou seja, mesmo tendo atendido às especificações, a estrutura mecânica apresentou deficiências. Em resumo, suas dimensões ficaram levemente maiores do que a de um cubesat padrão, além de ter ficado mais pesada do que o tolerável para as especificações de transporte atribuídas ao Balão para isso a confecção das placas no CNC presente no instituto MAUA deve ser considerado. O peso excedente do estanho utilizado na confecção dos módulos foi desconsiderado nas análises iniciais.

O experimento final, para ser concluído, ainda necessita de programação para criar os arquivos de memória, coletar e gerenciar os bancos de dados e, tratar matematicamente os sinais obtidos. Sugere-se que estes tópicos sirvam de base para trabalhos futuros.

Figura 11: Detalhe final de todos os módulos eletrônicos produzidos.



Referências Bibliográficas

- Flores; César Abraham (2017). Validação do Sistema de recarga do CUBESAT da escola de engenharia MAUA.
- Trimble (2010) GETTING STARTED GUIDE - SPS852 MODULAR GPS RECEIVER.
- Tom Markvart, Luis Castañer (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*.
- CUBESAT SHOP; Products. Disponível em:
<<https://www.cubesatshop.com/product/mai-ke-sun-sensor/>>.
Acesso em 3 dez, 2019.

LDR datasheet. Disponível em: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_LDR.pdf. Acesso em 3 dez, 2019.

.PIC 16F877A datasheet. Disponível em: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/MicrochipTechnology/PIC16F877A/pdf.php?id=511317>. Acesso em 3 dez, 2019.

TIL78 fototransistor. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/leds/fototransistor-receptor-infravermelho-5mm-til78-3093.html#idTab5>. Acesso em 3 dez, 2019.

CGEE; resumo executivo. Disponível em:

<https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/CGEE_resumoexecutivo_CubeSats_Web.pdf>
Acesso em 3 dez, 2019.

CALLEGARE, A.O.; LOPES, C.R.; SOUZA, L.J.; BRIZOLLA, M.C.; HORONATA, V.; Estudo sobre o albedo em diferentes tipos de superfície. Disponível em: http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/formularioPI/arquivos_de_usuario/201022B.pdf. Acesso em 3 dez, 2019.