

# VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE RECARGA DO CUBESAT DA ESCOLA DE ENGENHARIA MAUÁ

César Abraham Flores Cisneros Filho <sup>1</sup>; Alessandro de Oliveira Santos <sup>2</sup>

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

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

**Resumo.** Com a missão lunar brasileira Garatéa-L, os grupos de pesquisa do Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados (NSEE-IMT) são incentivados, ainda mais, a continuar o desenvolvimento nas áreas voltadas ao estudo dos nano-satélites do tipo Cubesat. Diante deste cenário promissor, surgem inúmeras possibilidades para pesquisas e estudos voltados à área aeroespacial. Todos os ensaios realizados durante esta iniciação são referentes aos subsistemas do Módulo de Potência do Cubesat EEM-IMT, e possuem o objetivo de validar o sistema de recarga das baterias e propor técnicas para maximizar a energia gerada pelas fotocélulas. Além dos objetivos principais, também se estudou a necessidade de orientação através de sensores solares, essencial na elucidação dos problemas relacionados ao consumo e a capacidade de recarga do sistema.

## Introdução

Seguindo as tendências acadêmicas de vanguarda, o IMT, representado pelo NSEE, desenvolve tecnologia própria na área aeroespacial, com objetivo de lançar um Cubesat em órbita. Cubesats são nano-satélites acadêmicos, desenvolvidos no intuito de promover o desenvolvimento científico aeroespacial e, corriqueiramente, utilizados para realizar experimentos científicos nas mais diversas áreas.

Em geral, são compostos por diversos subsistemas onde, dentre os principais, destacam-se os Módulos de Potência e o de Comunicação (vide Figura 1).

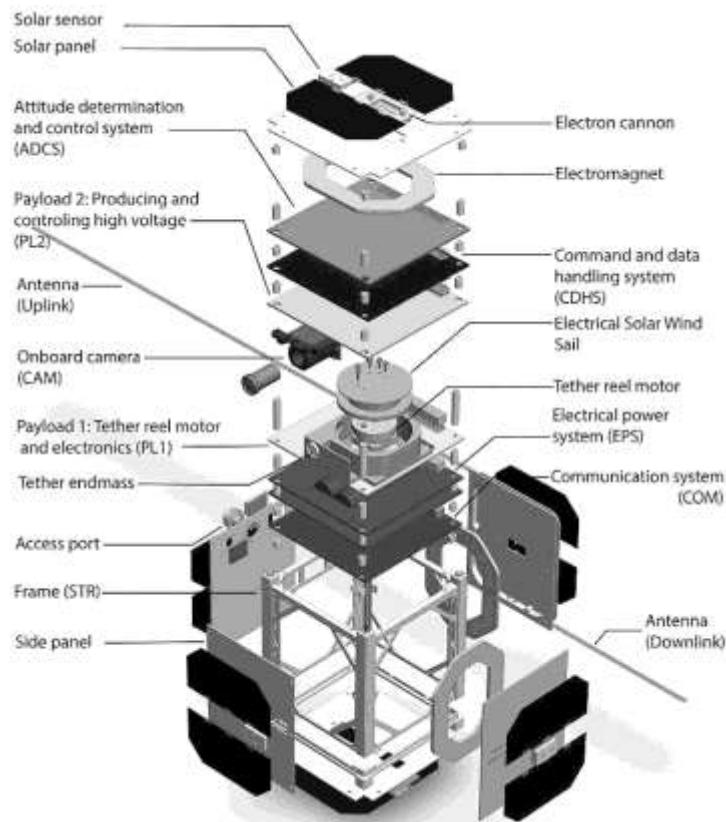


Figura 1 – Subsistemas de um Cubesat.

O Módulo de Potência, tema principal deste estudo, pode ser subdividido em três partes: módulo eletrônico de conversores, painéis solares e banco de baterias.

Esse módulo é responsável por gerenciar e fornecer energia, além de controlar os painéis solares. As fotocélulas carregam as baterias, enquanto os sensores solares detectam a posição do sol para auxiliar na correção do posicionamento.

Esta iniciação foi direcionada no intuito de validar o sistema de recarga do banco de baterias de um nano-satélite acadêmico, conhecido como Cubesat EEM-IMT. Além do teste do Módulo de Potência, os estudos abrangem a análise das fotocélulas assim como diversas alternativas de baixo custo para a implementação dos sensores solares.

Colaborando com estes esforços, uma outra equipe do NSEE está desenvolvendo um Balão Atmosférico para lançamento do Cubesat. Através deste último teste, a organização da missão acredita que será possível consolidar os vários subsistemas já desenvolvidos, o que consequentemente, homologaria a validação do Módulo de Potência em questão.

## Material e Métodos

Como primeiro passo para validar o Módulo de Potência analisou-se o circuito, já desenvolvido por outros alunos, para familiarização com os componentes e aprofundar os conhecimentos relacionados a tecnologia MPPT (vide Figura 2).

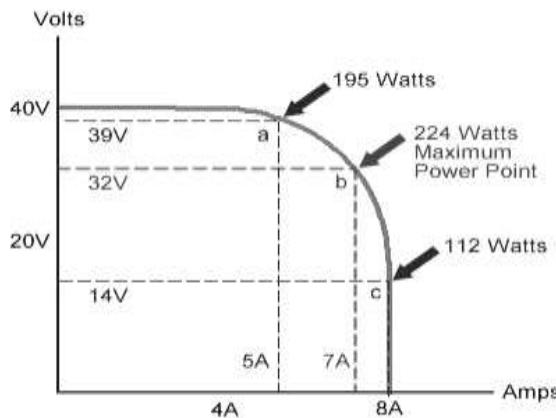


Figura 2 – MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) é uma técnica que permite ao conversor CC/CC encontrar o ponto de potência máxima, otimizando o ponto de operação dos painéis solares para uma condição ótima, maximizando a absorção de energia das fotocélulas para o banco de baterias. Como o CubeSat somente terá as fotocélulas para prover energia, é, extremamente importante e necessário aproveitar o máximo possível delas.

Para facilitar a compreensão do funcionamento do sistema e justificar o estudo dos sensores solares, é necessário conhecer a estrutura mecânica do modelo do Cubesat EEM-IMT. Composto por apenas 1U (Unidade estrutural padronizada para nano-satélites: 10x10x10cm com carga máxima de 1kg), este possui quatro painéis solares laterais que, uma vez liberados, dariam origem a uma formação composta por quatro pétalas, conforme pode ser visualizado no exemplo da Figura 3.

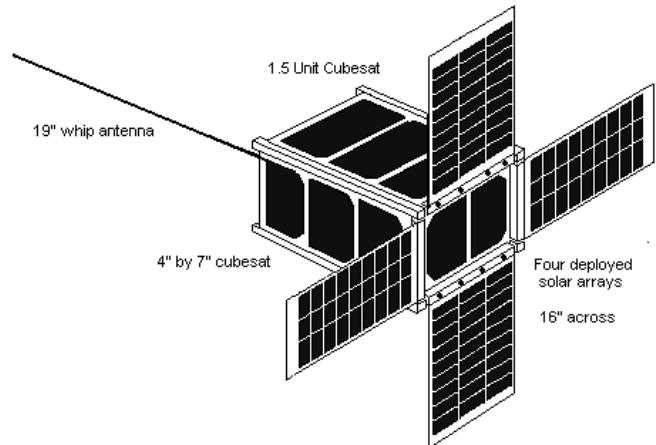


Figura 3 – Abertura dos painéis solares (pétais compostas pelos 4 conjuntos de fotocélulas).

Como todos os painéis solares praticamente pertencem ao mesmo plano, fica evidente a necessidade de orientação solar. As fotocélulas fornecem energia apenas se tiverem orientadas para o Sol. Uma inclinação deficiente em relação ao Sol reduziria, sensivelmente, a eficiência da absorção energética.

Com objetivo de maximizar a quantidade de energia proveniente das fotocélulas, foram feitos estudos e testes em relação às fotocélulas e aos sensores solares que poderiam ser utilizados.

Seguindo esta necessidade, foram selecionadas três alternativas para os testes iniciais dos candidatos a sensores solares: Fototransistor TIL78, LDR (Light Dependent Resistor) e um TBJ 2N3055 com encapsulamento aberto (vide Figura 4).

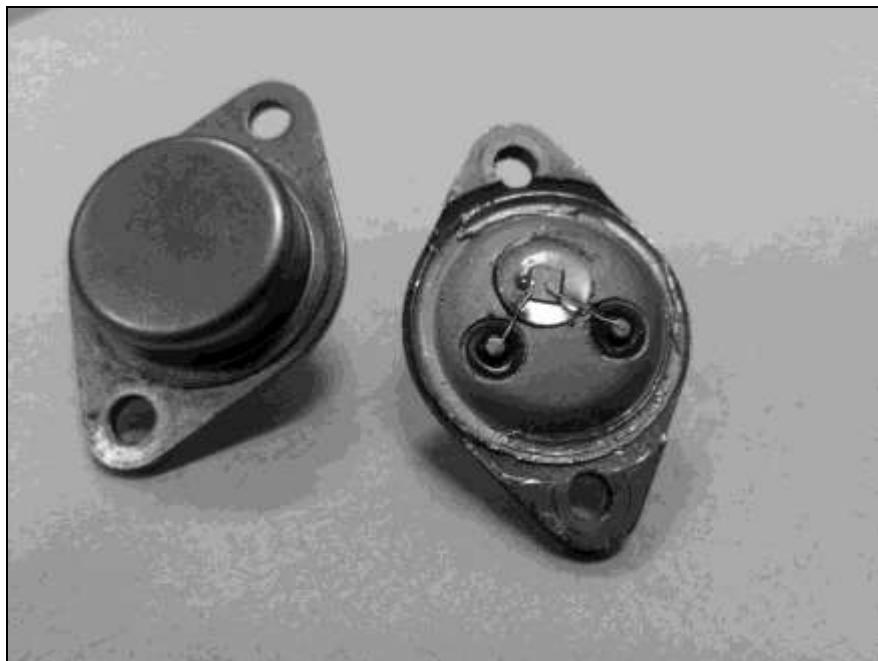


Figura 4 – Transistor 2N3055 devidamente adaptado para os ensaios.

Cada candidato a sensor solar foi ensaiado de acordo com suas características. O LDR e o Fototransistor TIL78 foram polarizados e ensaiados como se fossem resistências variáveis, sensíveis à luminosidade (vide Figura 5).

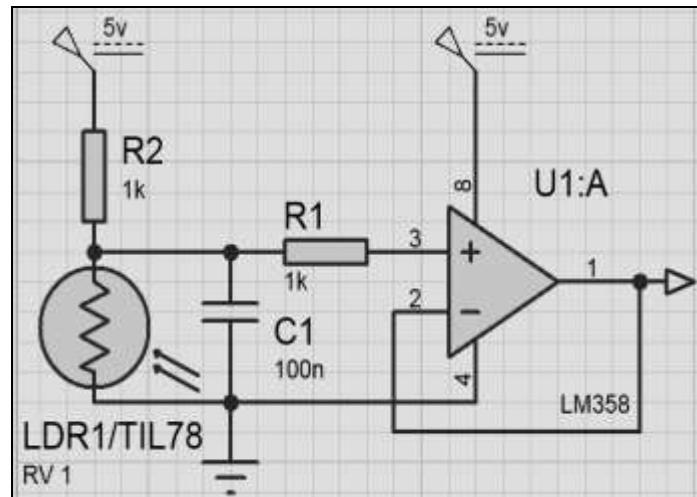


Figura 5 – Topologia utilizada na leitura dos componentes LDR/TIL78.

Para ilustrar o comportamento das resistências variáveis, tem-se o caso do LDR que, a exemplo do fototransistor (TIL78), apresenta coeficiente negativo em relação à variação de luminosidade, ou seja, a resistência é inversamente proporcional à potência luminosa irradiada. Portanto, quanto maior for a irradiação luminosa menor será a resistência ôhmica resultante entre seus terminais. Para uma potência luminosa de  $930\text{W/m}^2$  (irradiação solar por volta do meio-dia, num dia de céu aberto e bem ensolarado) a menor resistência medida foi de aproximadamente  $49,7\Omega$ . Para o mesmo LDR, na escuridão total observou-se, aproximadamente  $130\text{k}\Omega$ , o que confirma o princípio de funcionamento dos dois componentes.

No caso do terceiro candidato, a topologia de tratamento dos sinais foi ligeiramente diferente, uma vez que, a pastilha exposta do transistor 2N3055 se comportou como uma fotocélula, ou seja, como resultado da exposição da pastilha semicondutora à irradiação luminosa, surgiu uma diferença de potencial na junção base-emissor do transistor. Para avaliar o comportamento desta fotocélula alternativa, utilizou-se uma lâmpada incandescente para excitar a pastilha semicondutora e simular o espectro solar (vide Figura 6).



Figura 6 – Teste do 2N3055 utilizando uma lâmpada incandescente de 30W.

Na prática, um circuito amplificador condiciona a tensão base-emissor, de modo a melhorar a medição. Durante os testes, o maior valor observado foi de, aproximadamente, 0,495 V. Desta forma, para maximizar os valores medidos, utilizou-se um amplificador com ganho 10 e configuração inversora, conforme o circuito a seguir (vide Figura 7):

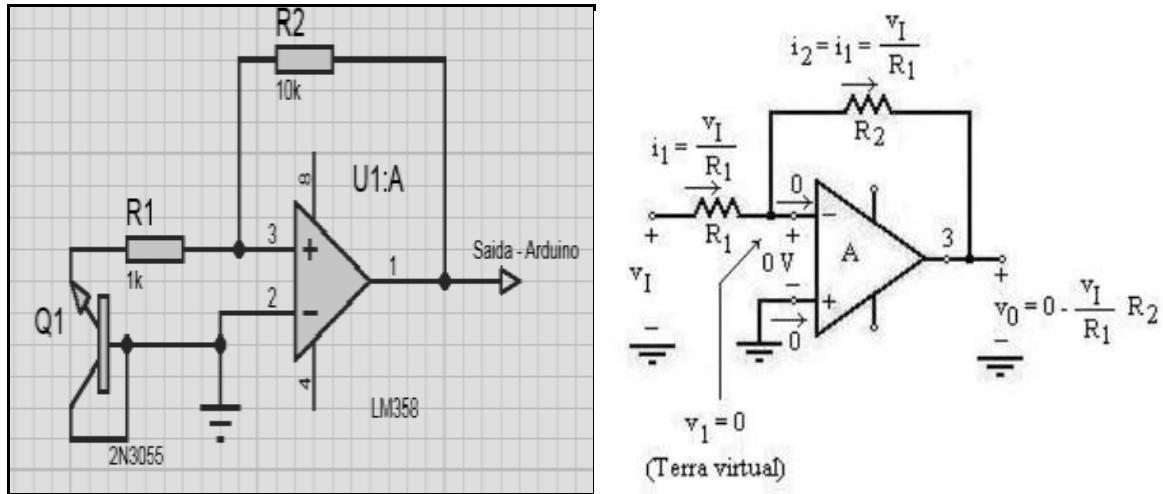


Figura 7 – Circuito sensores utilizados para a leitura do 2N3055.

Todos os sinais foram condicionados através de amplificadores operacionais, para ajustar ganhos e sensibilidades. Os sinais coletados nas junções semicondutoras expostas, assim como, as tensões provenientes dos divisores resistivos foram devidamente convertidas e armazenadas pelo circuito microcontrolado, utilizado na aquisição de dados.

O lançamento pelo Balão Atmosférico possibilitará validar estes sensores. Como todos os componentes se apresentaram como potenciais candidatos nos testes laboratoriais, a seleção da melhor alternativa deverá ser realizada com base nos dados experimentais a serem coletados durante o próximo lançamento do Balão Atmosférico.

Cada uma das seis faces do cubo terá os três tipos de sensores, cada um coletando e armazenando as informações a cada intervalo de tempo e/ou altitude. Dois modelos de CubeSat foram feitos nas impressoras 3D do IMT, um na topologia clássica de barras laterais e outro estruturado por cantoneiras (vide Figura 8).



Figura 8 – Modelo do CubeSat.

Com os sensores definidos o teste seguinte avaliará o ângulo de visão do sensor (vide Figura 9). A partir deste ângulo será possível esquematizar qual a quantidade e o posicionamento necessário para um desempenho satisfatório.

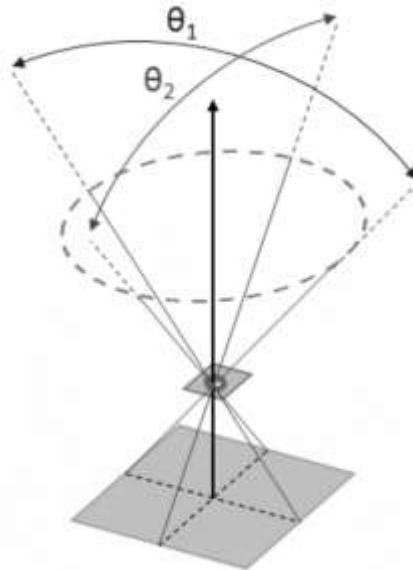


Figura 9 – Ângulo de visão do sensor solar.

Com a orientação correta, as fotocélulas estarão na condição ideal para maior recepção da luz solar. Nestas condições, a técnica MPPT disponível na placa de potência terá condições totalmente favoráveis para maximizar o carregamento das baterias.

## Resultados e Discussão

O estudo teórico das placas solares foi muito importante, pois levando em consideração o tempo que o CubeSat estaria na penumbra (região escura sem recarga solar), e o consumo dos demais módulos, constatou-se que após um ciclo completo de operação de seus subsistemas, a descarga de seu banco de baterias seria tão profunda que, se Cubesat não entrasse em modo de *stand-by* e permanecesse carregando seu banco de baterias por um longo intervalo de tempo, sua vida útil seriamente reduzida o que, consequentemente, comprometeria a missão.

Esta análise foi feita considerando que ele passará um terço do tempo na penumbra e que as fotocélulas sempre estarão posicionadas corretamente conforme os sensores solares.

Apesar do CubeSat dar várias voltas na Terra durante um dia (aproximadamente, 16 voltas – órbita completa a cada 90 minutos), descobriu-se que ele só passaria pela mesma região geográfica do globo terrestre após decorridos alguns dias. Este fato impactou e influenciou a missão, pois mudou a necessidade de transmitir pacotes de comunicação frequentemente, procedimento este responsável por um consumo considerável das baterias.

Outra variável de relativa relevância, descoberta durante os estudos e simulações astrodinâmicas e, que interferiria diretamente no funcionamento dos sensores solares, foi o efeito Albedo (coeficiente de reflexão da Terra), o qual está relacionado aos fôtons refletidos pela superfície do planeta. Para fins práticos, este efeito será, a princípio, desconsiderado pois, além de ser difícil de se quantificar é dependente da superfície na qual está incidindo.

Finalmente, é necessário comentar que, em relação ao teste final, ficaram faltando os ensaios finais no módulo eletrônico de conversores. Infelizmente, em virtude da ausência de uma versão operacional para o firmware de controle, não foi possível concluir o processo de validação do Módulo de Potência, como havia sido planejado.

## Conclusões

Mesmo não sendo possível o teste completo do módulo eletrônico de conversores devido à ausência do firmware de controle central, adaptou-se e complementou-se o objetivo principal de validar a placa de potência do CubeSat.

O fato de não termos acesso à montagem final modificou nossa abordagem em relação ao estudo da validação do sistema recarga, redirecionando os esforços para o estudo dos sensores solares. A contribuição destes estudos está associada ao sucesso do experimento a ser realizado durante o próximo lançamento do balão atmosférico.

Portanto, apesar dos estudos terem sido mais teóricos do que práticos, trazer ao conhecimento de todas as equipes, a situação de que não seria possível fazer a missão com o consumo de energia inicialmente planejado foi de extrema importância para redirecionar os demais grupos a uma situação operacional mais próxima da realidade.

## Referências Bibliográficas

- Ping Wang; Yuri B. Shtessel; Yong-qian Wang (1998). Satellite Attitude Control Using only Magnetorquers.
- Junquan Li; Mark Post; Thomas Wright; Regina Lee (2013). Design of Attitude Control Systems CubeSat-Class Nanosatellite.
- Trimble (2010) GETTING STARTED GUIDE - SPS852 MODULAR GPS RECEIVER.
- Tom Markvart, Luis CastaLžer (2003). Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications.
- Tetzlaff, G. (1983). Albedo of the Sahara. Cologne University Satellite Measurement of Radiation Budget Parameters.
- Pon, Brian (30 de junho de 1999). Pavement Albedo. Heat Island Group.
- Martin Nygren (2012). Using Solar Panels as Sun Sensors on NTNU Test Satellite. Norwegian University of Science and Technology.