

AutoSat: Nanosatélite para testes na Anomalia Magnética do Atlântico Sul

Silva Filho, José Edilson (Tutor)* Oliveira Furtado, Lucas (participante)*
Moraes Campello, Lia (participante)* Rodrigo Silva Lima (participante)*

*Universidade Federal do Ceará

Resumo: Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma espécie de defasagem na proteção magnética de nosso planeta localizada mais especificamente nas regiões sul e sudeste do Brasil e que se estende até o sul do continente Africano. Agências espaciais por todo o mundo têm alertado para a importância de compreender esse fenômeno que afeta diretamente dispositivos espaciais que cruzam essa região. A ESA alertou para o crescimento gradativo da distorção desde a década de 70. De acordo com estudos publicados em 2020, a Terra perdeu 9% de força nos últimos 200 anos, sendo o maior impacto concentrado na AMAS. Satélites e outros dispositivos e naves espaciais, ao passarem pela região de distúrbio da AMAS, sofrem com a perda de proteção contra a radiação espacial causando falhas transitórias e por vezes até permanentes. No Brasil, além do nanosatélite lançado ao espaço em março de 2021, também há dois observatórios magnéticos que, entre outras missões, objetivam estudar e compreender essa anomalia. Nosso projeto visa ser uma iniciativa original no estudo da AMAS, pois não só desejamos realizar testes referentes a tolerância a falhas, mas implantar novas tecnologias e protocolos de segurança para automatizar correções de erros em aplicações espaciais, como automação em atualização de firmware após falha usando conceitos de computação distribuída, como o Blockchain que tem despertado interesse em grandes Agências espaciais como a ESA [1]

Palavras-chave — Anomalia Magnética do Atlântico Sul, CubeSat, Computação Distribuída e Blockchain

I. INTRODUÇÃO

No final de Janeiro de 2020 a SpaceX, uma das gigantes do setor aeroespacial, lançou 242 satélites, tornando-se a maior operadora de constelação de satélites ativos do mundo [2]. Essa magnitude ressalta a nova era da corrida espacial e tem suas bases lançadas em satélites cada vez mais versáteis, com novos padrões de construção, tolerância a alguns efeitos do clima espacial e baixo custo.

Esses novos satélites têm o potencial de revolucionar muitos aspectos de nossa sociedade, levando internet aos lugares mais remotos, monitorando a Terra buscando prever desastres naturais e provendo diversos outros serviços nos setores de telecomunicação, defesa e economia.

Cada dispositivo deste possui um ciclo de vida em sua missão. Por vezes, estão preparados para trabalhar em conjunto com outros satélites e para isso usam diversos protocolos de comunicação e criptografia nas trocas de mensagens entre si e com a estação na Terra.

O clima espacial é muito adverso aos componentes eletroeletrônicos [3], estes sofrem efeitos de diversas circunstâncias como temperaturas extremas e colisões de partículas altamente carregadas energeticamente. A radiação causa alguns efeitos, dentre eles o Total Ionizing Dose (TID) e Single Event Effect (SEE). Existem vários tipos de falhas que podem ocorrer em um OBC (On-board Computer). As principais causas de falhas, segundo um estudo da BRIDGES, (2012) que levou em conta 2500 missões espaciais entre 1962 e 1988 são: Desenvolvimento, operação, qualidade do produto e o entendimento das variáveis do ambiente (por exemplo, os efeitos da radiação), esta última correspondendo a 21,4%. E no quesito variáveis ambientais podemos encontrar o efeito da radiação

Os SEE's podem causar Hard Error, erros permanentes, ou Soft Error, erros temporários. Em 1962 o satélite Telstar 1 (Figura 1) foi uma das primeiras vítimas da radiação no espaço, seus transistores sofreram uma degradação quando passaram pelo cinturão de Van Allen [4].

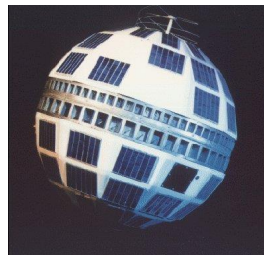


Figura 1- Telstar foi primeiro satélite de comunicações geossíncronas do mundo

Na Figura 2 visualizamos o efeito de um SEE em um transistor, nela podemos ver o close up (de perto) de um transistor atingido por um Single Event Effect.

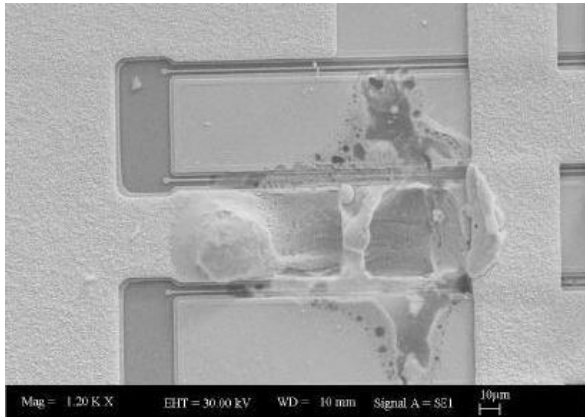


Figura 2- Efeito de um SEE em um transistor.

Outro fenômeno que tem despertado cada vez mais atenção dos pesquisadores e engenheiros aeroespaciais ao redor do mundo é a chamada Anomalia Magnética do Atlântico Sul ou AMAS. Veja a figura 3. Uma defasagem no campo magnético de nosso planeta que afeta dispositivos eletrônicos em suas missões espaciais. Com essas variações no campo magnético (nossa proteção natural contra muitas partículas radioativas vindas do espaço) põe-se em risco não só os aparelhos eletrônicos mas até os astronautas. Estudar mais a fundo esse fenômeno e projetar sistemas resistentes a falhas tem sido a rotina de diversas organizações ao redor do mundo.

Memórias RAM e Flash, sensores de atitude câmeras dentre outros, são dispositivos orquestrados pelo computador de bordo e falhas nessa composição podem levar ao fracasso de uma missão. Durante nosso trabalho iremos adotar um computador de bordo criado pela Universidade Federal do Ceará, o OpenOBC[4], que se destaca por ser open source e de baixo custo.

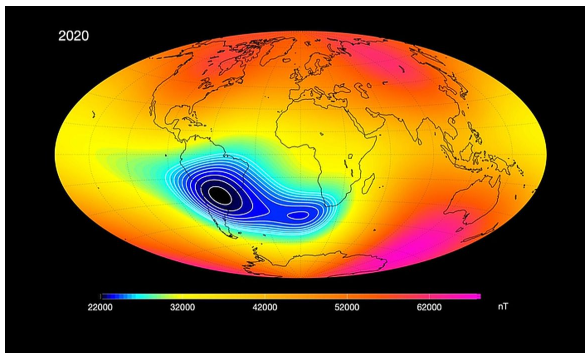


Figura 3- Imagem da AMAS Fonte ESA.

II. DETALHAMENTO TÉCNICO

O *OpenOBC* é um computador de bordo para satélites no padrão CubeSat. Desenvolvido dentro do Laboratório de Engenharia de Sistema de Computação (LESC) da Universidade Federal do Ceará, ele tem como um de seus objetivos ser Open Source (daí seu nome OpenOBC) e apresenta-se como uma ótima solução diante de projetos de baixo custo, mas possuidor de robustez por ser tolerante à falhas. Podemos ver na Figura 4 a arquitetura do OBC.

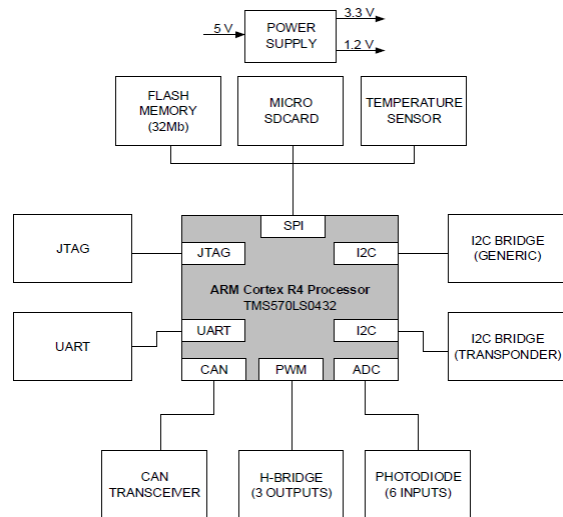


Figura 4: Arquitetura do OpenOBC. Fonte: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/22986> [4]

O processador é um ARM Cortex R4 TMS570LS0432, que foi projetado para simplificar o desenvolvimento de sistemas que sejam funcionalmente seguros. O que é extremamente importante, pois para aplicações que envolvem baixo custo é fundamental o uso de técnicas de proteção e confiabilidade dos dados que transitam internamente e que são transmitidos às estações de controle na terra.

O processador em questão apresenta um núcleo ARM Cortex-R4 em duas CPUs, operando com o mesmo conjunto de operações em paralelo (lockstep), detecção e correção de falhas em suas memórias RAM e ROM internas, além do monitoramento do *clock* e da tensão de alimentação. Possui ainda 384KB de memória flash e 32KB de RAM de dados com correção de bit único e detecção quando houver a inversão de bits duplo.

Objetivamos uma missão inédita para nossa equipe e para os grupos de pesquisas de nossa universidade. Vamos estudar como um CubeSat com esse OBC se comporta ao passar pela AMAS, como é sua integração com os sensores no KIT CubeSat e implementaremos rotinas de automação em bootloader e calibração de sensores com a tecnologia blockchain, visando diminuir a latência nessa atividade.

Serão realizados testes de escrita e leitura de dados nas memórias Flash e RAM, bem como monitoramento de surgimento de erros nessa operação. Usaremos ainda um código corretor de erro desenvolvido também pela UFC e confrontaremos os resultados com os códigos corretores de erros disponibilizados pelo fabricante do processador.

Como parte de nossa proposta, iremos usar a tecnologia Blockchain como ferramenta de segurança para permitir a automação de rotinas críticas como transmissão de dados, calibração de sensores e até bootloader, outro estudo inédito usando conceito de constelação de nanosatélites e estações terrestres. veja figura 5.

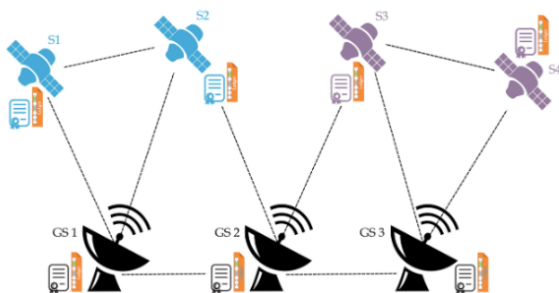


Figura 5: Conceito de rede blockchain entre estações e satélites. [5]

Para entender melhor sobre essa nova tecnologia, vejamos uma breve explicação.

A. O que é Blockchain?

O Blockchain é basicamente uma lista encadeada e crescente de registros. São chamados de blocos e possuem uma criptografia que os protege. Em geral o Blockchain possui alguns componentes e são eles: dados, hash, hash anterior e metadados (carimbo da hora/data e número do bloco). Vejamos o que significam.

- *Dados*: podem ser uma *string* simples ou uma lista de transações;

- *Hash*: é um identificador único para um bloco e é análogo a uma impressão digital

- *Hash anterior*: é o valor hash do bloco anterior na lista

- *Metadados*: são as informações sobre os dados, como o número do bloco, data, hora etc. veja figura 6

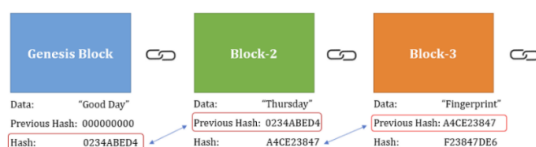


Figura 6: Blocos em uma Blockchain vinculados via hash. Site <https://medium.com>

Existem dois tipos principais de Blockchain: as sem permissão, isto é, são abertas e públicas, como o *Bitcoin* e *Ethereum* e as permitidas ou com permissão [5], que possuem um conjunto limitado de pares, são privadas e são exemplos as da *Hyperledger Fabric* e *R3 Corda*

Outro conceito amplamente usado é o *Smart Contract* [5] [6]. O conceito de contrato inteligente não é novo, mas a Blockchain da Ethereum permitiu que ele pudesse ser implementado de forma confiável. São basicamente contratos auto executáveis, blocos de códigos que ao alcançarem certos marcadores realizam-se automaticamente. Será a base das transações que realizaremos. Na Ethereum são chamados de *Contracts* [5] e na *Hyperledger* são chamados de *Chainodes* [8]. Esse conceito será usado em nosso projeto.

B. Blockchain e seu uso em aplicações espaciais.

Recentemente algumas agências espaciais e empresas de setores afins têm demonstrado seu interesse em conjugar o uso do blockchain em seus produtos ou como parte de suas soluções. Podemos citar alguns exemplos:

i) ESA (Agência Espacial Europeia): com interesse em usar o Blockchain na Observação da Terra [1]. Ela enumera rastreo e registro da cadeia de suprimentos, padronização do formato de dados, governança e processamento distribuídos, Blockchain como serviço chamado BaaS e sistemas autônomos.

ii) NASA em seu estudo “Blockchain Application Within a Multi-Sensor Satellite Architecture” que detalha primeiros experimentos e simulações como automação em requisições entre satélites [9].

iii) Mundo Científicos: outras aplicações como Monitoramento de detritos espaciais e identificação de satélites no espaço [10] ou até controle seguro e automatizado em veículos aéreos autônomos são referenciados em grandes periódicos científicos.

iv) Spacechain: Uma das primeiras empresas a utilizar a ideia de rede de satélite descentralizada.

C. Proposta de pesquisa

Tomando por base os conceitos apresentados, desejamos implementar a nível de firmware a criação de rotinas de coleta e armazenamento de dados em memórias (RAM e FLASH), bem como monitoramento de detecção e correção de erros especialmente durante a passagem do AUTOSAT pela região da AMAS, por acreditarmos que nessa região ele estará no ápice da adversidade do clima espacial,

suscetível ao surgimento de erros e mal funcionamento. Poderemos assim analisar o comportamento de nossas soluções visando obter resultados que nos permitam gerar contribuições ao mundo científico e à indústria.

O KIT fornecido pela organização do OBSAT é composto de sensores como:

1. Nível de bateria: Usaremos para medir o consumo energético nas atividades de detecção e correção de erros bem como em outras atividades computacionais.
2. Os sensores de luminosidade, pressão, temperatura e umidade: usaremos para realizar coleta de dados. Esses dados serão armazenados em memória e sobre eles iremos realizar os experimentos objetivados no projeto
3. Os demais sensores serão usados para a realização da missão.

Mediremos o consumo energético, tempo e uso de recursos computacionais, bem como o grau de dificuldade para a implementação.

III. OBJETIVOS

Baseado no apresentado nas seções anteriores, visualizamos um ambiente de oportunidades de pesquisa e enumeramos os objetivos em gerais e específicos.

Gerais

- Pesquisar, planejar e propor uma solução robusta de um computador de bordo de baixo custo para missões de CubeSats.
- Pesquisar o uso de blockchain para realização de tarefas em missões espaciais.
- Entender como a AMAS afeta dispositivos no espaço

Específicos

- Pesquisar e implementar algoritmos de escrita e leitura em memória RAM e FLASH
- Implementar o conceito de smart contracts como forma de interação em constelações de nanosatélites
- Compartilhar os resultados das pesquisas e implementações realizadas.

Para alcançar nossos objetivos seguiremos o cronograma descrito na Tabela I.

TABELA I- CRONOGRAMA

Atividade	Estimativa de tempo
Revisão de literatura sobre Escrita e Leitura de dados em memórias RAM, Blockchains e criação de protocolos para o experimento	Mês 1 a 3

Implementar os algoritmos via firmware OpenOBC e integrá-lo ao KIT CubeSat	Mês 2 a 4
Realizar os primeiros testes em simulação	Mês 5 a 7
Realizar melhorias e prepara pra versão de teste em ambiente real	Mês 7 a 12
Disponibilizar os resultados com o mundo acadêmico	Mês 13

IV. RESULTADOS ESPERADOS

A determinação de como a AMAS influencia e afeta os dados armazenados em memórias e transmitidos à terra, vantagem ou desvantagem em automatizar com blockchain processos críticos em missões espaciais, bem como os recursos computacionais se comportam em ambientes hostis e no limite das especificações dos fabricantes.

Como sugestão adicional nos propomos a compartilhar nossos resultados com o grupo responsável pela missão nanosatC-BR2 como forma de contribuir com seus estudos do clima espacial.

BIBLIOGRAFIA

- [1]https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2019/04/Blockchain-and-Earth-Observation_White-Paper-April-2019.pdf Acesso em 23/03/2021
- [2]<https://spacenews.com/spacex-launches-fourth-batch-of-starlink-satellites-tweaks-satellite-design/> Acesso em 23/03/2021.
- [3]M. Turowski and A. Raman, "Device-circuit models for extreme environment space electronics," Proceedings of the 19th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems - MIXDES 2012, Warsaw, 2012, pp. 350-355.
- [4]Mota, David Freitas Moura. "OpenOBC: uma arquitetura de um computador de bordo open source e de baixo custo para o padrão CUBESAT". Acesso: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/24500>
- [5]Braga Melo, Alexandre. Tecnologia Blockchain: Fundamentos, Tecnologias de Segurança e Desenvolvimento de Software.
- [6]"Ethereum Blockchain App Platform." Acesso: <https://www.ethereum.org>
- [7]https://www.cpqd.com.br/wp-content/uploads/2017/09/whitepaper_blockchain_fundamentos_tecnologias_de_seguranca_e_desenvolvimento_de_softwar_FINAL.pdf
- [8]"Hyperledger - Blockchain Technologies for Business." Acesso: <https://www.hyperledger.org>.
- [9]J. d. La Beaujardiere, R. Mital and R. Mital, "Blockchain Application Within A Multi-Sensor Satellite Architecture," *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2019, pp. 5293-5296, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898117.

