UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Lucas Zacchi de Medeiros

**Análise e implementação de fluxo de automação de testes dos sistemas embarcados de pequenos Satélites Artificiais**

Florianópolis
2022

Lucas Zacchi de Medeiros

# Análise e implementação de fluxo de automação de testes dos sistemas embarcados de pequenos Satélites Artificiais

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Ciências da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de bacharel em Ciências da Computação.
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Bezerra
Coorientador: Prof. Dr. Rafael de Santiago

Florianópolis
2022

À Maria, com amor. Minha companheira, amiga e por vezes revisora voluntária. Sua ajuda e motivação fez este trabalho comigo.

**AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus orientadores, sem os quais este trabalho não seria possível; Aos membros do SpaceLab, em especial a equipe do FloripaSat-2 pela ajuda e suporte; À minha família, especialmente minha mãe, que celebrou, reclamou, agradeceu e chorou comigo durante toda a graduação; Aos meus amigos e amigas, que me acompanharam durante todo esse tempo, e não me deixarão perder a alegria; À todos os servidores da UFSC, por manter e prover educação pública, gratuita e de qualidade;

*“O êxito precoce é um péssimo professor. Quando isso acontece, somos recompensados por nossa falta de preparação e, quando nos vemos no meio de uma situação para a qual devemos nos preparar, não somos capazes. Não sabemos como fazê-lo.”*
*(Chris Hadfield, An Astronaut’s Guide to Life on Earth, 2013)*

**RESUMO**

Satélites artificiais são projetos que demandam níveis elevados de confiabilidade de seus módulos. Apesar de alguns projetos permitirem atualizações posteriores de firmware e programas, são raros os casos onde é possível revisar e corrigir hardware. Por esse motivo a etapa de testes e AIV (*Assembly, Integration, and Verification*) é crucial para a garantia de que o projeto não corra mais riscos do que os que são inerentes à área. Esses fatores são amplificados quando tratamos de *CubeSats*, que possuem escopo e orçamentos menores quando comparados a grandes projetos governamentais e/ou comerciais. Este trabalho propõe a implementação de um sistema de *workflows* hospedados na plataforma de controle de versionamento *GitHub* que, aliados à funcionalidade GitHub Actions, permitirá a execução automatizada de testes no contexto dos planos de *Assembly, Integration, and Verification*(AIV) da missão FloripaSat-2 e, posteriormente, análise e interpretação dos dados coletados de modo a obter resultados qualitativos e quantitativos da execução.

**Palavras-chave**: CubeSat. Nanossatélite. FloripaSat-2. AIV.

**ABSTRACT**

Artificial Satellites are projects that demand highly reliable modules. Despite some missions allowing post-deployment updates to firmware and software, cases where it is possible to perform hardware maintenance are rare. Because of this fact, the *Assembly, Integration and Verification* (AIV) process is crucial to guarantee that the project doesn't face more risks than those which are inerent of a space mission. These factores are intensified when dealing with *CubeSats*, that statistically have lower budgets and scope when compared to large scale governmental and/or commercial space missions. This article proposes the implementation of a test automation workflow system hosted at GitHub that will make use of the GitHub Actions tool to allow automated execution of tests during the AIV step of the FloripaSat-2 mission, and lastly, will allow collection and analysis of data in order to draw relevant conclusions regarding the execution.

**Keywords**: CubeSat. Nanosatellite. FloripaSat-2. AIV.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Renderização do FloripaSat-2. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 13
Figura 2 – Lançamentos anuais de nanossatélites (previsão) . . . . . . . . . . . 22
Figura 3 – Estações que receberam dados enviados pelo FloripaSat-I nos três primeiros meses da missão. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 25
Figura 4 – Hardware do *EPS 2.0*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 33
Figura 5 – Hardware do *TTC 2.0*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 34
Figura 6 – Hardware do *OBDH 2.0*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 35
Figura 7 – Tela de resultados após a execução de um *workflow*. . . . . . . . . . . 40
Figura 8 – Fluxo de execução do modelo de automação. . . . . . . . . . . . . . . 45
Figura 9 – Execuções dos *workflows* no repositório do OBDH 2.0 . . . . . . . . . 47
Figura 10 – Execuções dos *workflows* no repositório do EPS 2.0 . . . . . . . . . . 48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Termos e definições na disciplina de testes de *software* . . . . . . 17
Quadro 2 – Pesquisas realizadas . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *drivers* do OBDH 2.0 . . . . . . . . . . . . . 41
Tabela 2 – Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *devices* do OBDH 2.0 . . . . . . . . . . . . . 41
Tabela 3 – Execuções individuais de *workflows* no OBDH 2.0. Fonte: (OBDH 2.0, 2020) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 46
Tabela 4 – Execuções individuais de *workflows* no EPS 2.0. Fonte: (EPS 2.0, 2020) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 47
Tabela 5 – Execuções do workflow drivers . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 65
Tabela 6 – Execuções do workflow . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 65

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

| | |
|---|---|
| AIV | *Assembly, Integration, and Verification* |
| CSA | *Canadian Space Agency* |
| CPS | *Cyber-Physical System* |
| EPS | *Electric Power System* |
| FlatSat | Metodologia de testes empregada na missão FloripaSat-2 |
| NASA | *National Aeronautics and Space Administration* |
| OBDH | *On-Board Data Handling* |
| SpaceLab | Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Espaciais - UFSC |
| TT&C | *Tracking, Telemetry and Command* |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| VM | *Virtual Machine* |

**SUMÁRIO**


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **INTRODUÇÃO** | **13** |
| 1.1 | OBJETIVOS | 14 |
| **1.1.1** | **Objetivo Geral** | **14** |
| **1.1.2** | **Objetivos Específicos** | **15** |
| 1.2 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 15 |
| **2** | **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** | **16** |
| 2.1 | CUBESAT | 16 |
| 2.2 | TESTE DE SOFTWARE | 16 |
| 2.3 | AUTOMAÇÃO DE TESTES | 17 |
| 2.4 | METODOLOGIA | 18 |
| **3** | **TRABALHOS RELACIONADOS** | **19** |
| 3.1 | SOFTWARE RELIABILITY GROWTH WITH TEST COVERAGE (MALAIYA *et al.*, 2002) | 19 |
| 3.2 | HOW DO SOFTWARE DEVELOPERS USE GITHUB ACTIONS TO AUTOMATE THEIR WORKFLOWS? (KINSMAN *et al.*, 2021) | 20 |
| 3.3 | AN ARCHITECTURE-TRACKING APPROACH TO EVALUATE A MODULAR AND EXTENSIBLE FLIGHT SOFTWARE FOR CUBESAT NANOSATELLITES (GONZALEZ *et al.*, 2019) | 20 |
| 3.4 | INTEGRATION AND VERIFICATION APPROACH OF ISTSAT-1 CUBESAT (MONTEIRO *et al.*, 2019) | 21 |
| 3.5 | QUALIFICATION AND VALIDATION TEST METHODOLOGY OF THE OPEN-SOURCE CUBESAT FLORIPASAT-I ("MARCELINO *et al.*, 2020) | 22 |
| 3.6 | A CRITICAL EMBEDDED SYSTEM CHALLENGE: THE FLORIPASAT-1 MISSION (MARCELINO *et al.*, 2020) | 23 |
| 3.7 | IN-ORBIT PRELIMINARY RESULTS FROM THE OPEN-SOURCE EDUCATIONAL NANOSATELLITE FLORIPASAT-I (MARCELINO *et al.*, 2021) | 24 |
| 3.8 | CONSIDERAÇÕES | 25 |
| **4** | **FLUXO DE AUTOMAÇÃO DE TESTES** | **27** |
| 4.1 | VISÃO GERAL DO SISTEMA | 27 |
| 4.2 | O MODELO | 28 |
| 4.3 | FUNCIONAMENTO | 28 |
| 4.4 | PADRÃO DE PROJETO | 29 |
| 4.5 | CONFIABILIDADE | 30 |

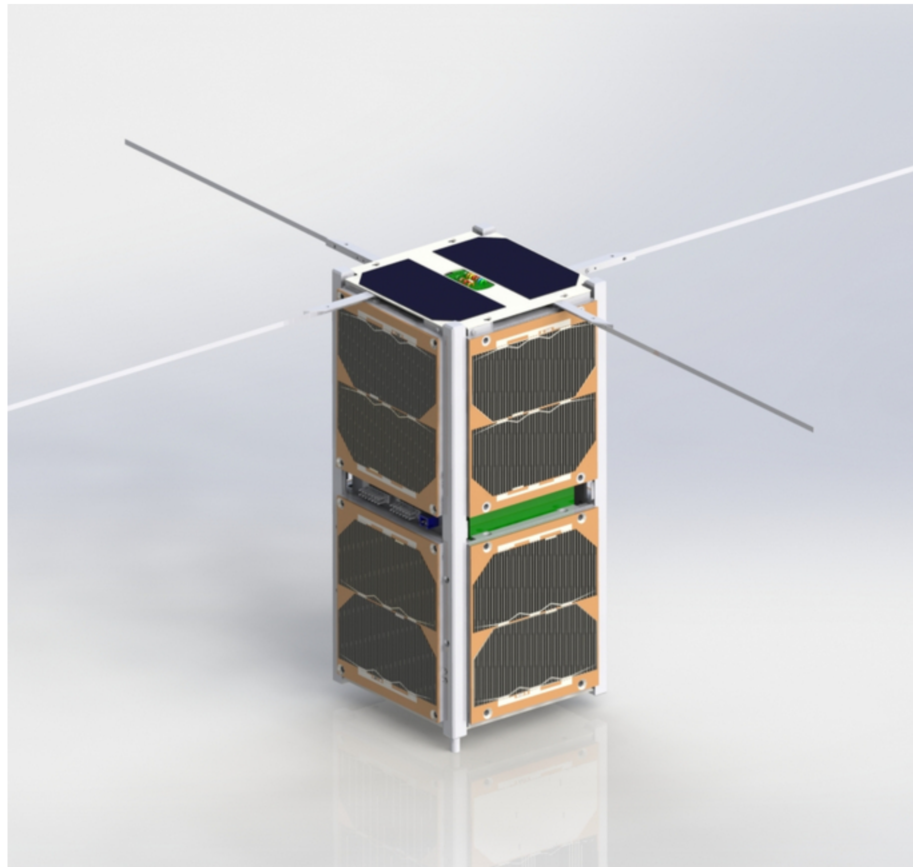
4.6 TESTES DE UNIDADE . . . . . 30
4.7 ANÁLISE ESTÁTICA . . . . . 31
**5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO . . . . . 32**
5.1 FLORIPASAT-2 . . . . . 32
**5.1.1 EPS 2.0 . . . . . 33**
**5.1.2 TTC 2.0 . . . . . 33**
**5.1.3 OBDH 2.0 . . . . . 34**
5.2 ANÁLISE ESTÁTICA . . . . . 35
5.3 TESTES DE UNIDADE . . . . . 36
**5.3.1 CMocka . . . . . 36**
5.3.1.1 Um *Mock Object* na biblioteca CMocka . . . . . 36
5.4 AUTOMAÇÃO . . . . . 39
**5.4.1 GitHub Actions . . . . . 39**
**5.4.2 Pré-Execução . . . . . 40**
**5.4.3 Execução . . . . . 44**
**6 RESULTADOS . . . . . 46**
6.1 EXECUÇÕES . . . . . 46
6.2 OBDH 2.0 . . . . . 46
6.3 EPS 2.0 . . . . . 46
**7 CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . . 49**
7.1 TRABALHOS FUTUROS . . . . . 50
**7.1.1 Testes de Integração . . . . . 50**
**7.1.2 FlatSat . . . . . 51**
**7.1.3 Análise e Interpretação de Dados . . . . . 51**
**7.1.4 Containerização . . . . . 51**
**REFERÊNCIAS . . . . . 52**
**APÊNDICE A – *WORKFLOW* DE TESTES DE UNIDADE PARA O MÓDULO OBDH 2.0 . . . . . 57**
A.1 UNIT-TESTS-DEVICES.YML . . . . . 57
**APÊNDICE B – DEPLOY JSON . . . . . 60**
B.1 DEPLOYJSON.PY . . . . . 60
**APÊNDICE C – ADS1248_WRAP.C . . . . . 62**
**APÊNDICE D – EXECUÇÕES DOS DRIVERS WORKFLOWS DO OBDH2 . . . . . 65**
**APÊNDICE E – ARTIGO SBC . . . . . 66**
**ANEXO A – *DEVICE ADC* . . . . . 82**

# 1 INTRODUÇÃO

CubeSats são uma classe de artefatos espaciais elaborada com o intuito de reduzir custos e tempo de desenvolvimento, além de providenciar maior acessibilidade ao espaço (JOHNSTONE, 2020). Inicialmente projetados para utilização educacional em universidades (BURT, 2011), são amplamente usados para exploração espacial em órbita terrestre baixa, com altitudes entre 160 km e 2000 km (ALANAZI; STRAUB, 2019).

CubeSats possuem uma unidade básica (U) de dimensão 10cm x 10cm x 10cm e de até 1kg de massa, mas podem ser configurados em até 24 Unidades (ou 24U) (CANADIAN SPACE AGENCY - CSA, 2018). O FloripaSat-2 (SPACELAB - UFSC, 2021), plataforma da missão GOLDS-UFSC do Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Espaciais da UFSC no qual este trabalho se baseia, é um CubeSat 2U que se encontra no presente momento, em estágio de desenvolvimento ativo. A figura 1 apresenta uma renderização da configuração do FloripaSat-2.

Figura 1 – Renderização do FloripaSat-2.



Fonte: (SPACELAB - UFSC, 2021)

O processo de verificação de design é uma etapa crucial em projetos de engenharia. Em tradução livre dos autores, Monteiro et al, dizem que:

> Em projetos espaciais, a amplitude e cuidado minucioso dos processos de teste são ainda mais importantes, em vista do nível de confiabilidade a ser imposto no produto final, que é comumente um artefato espacial que precisa resistir à uma gama de ameaças e funcionar em um ambientes inóspitos. (MONTEIRO *et al.*, 2019)

Ainda segundo os autores, o processo de *AIV* (sigla em inglês para Montagem, Integração, e Verificação) tende a ser mais leve em CubeSats, devido à menor escala dos projetos.

No entanto, o risco de um projeto de nanossatélite não é desprezível. Em um estudo realizado sobre os lançamentos de CubeSats entre 2003 e 2015, os autores (PANGA *et al.*, 2016) constataram que cerca de 15% das missões CubeSat nesse período não conseguiram manter comunicações com as estações de controle, resultando em falha da missão após o lançamento.

Por esses motivos, percebe-se então a relevância de um plano de testes bem estruturado para o ciclo de desenvolvimento do FloripaSat-2. Através da elaboração e execução de testes, pretende-se elevar a confiabilidade(CHEN *et al.*, 2001) do sistema, a fim de diminuir a probabilidade de que problemas no satélite resultem em falha da missão

O trabalho propõe, então, dois pontos principais:

- A implementação de um sistema de workflows hospedados na plataforma GitHub Actions (GITHUB, s.d.) nos repositórios oficiais do projeto, que possibilite a execução automática de testes unitários nos sistemas do FloripaSat-2;
- A análise descritiva dos testes unitários implementados durante o desenvolvimento dos subsistemas do satélite.

Os resultados esperados deste trabalho são a criação de um modelo para automação a ser usado em futuros projetos de desenvolvimento de sistemas embarcados para CubeSats, e um relatório com as conclusões e análises obtidas por meio do estudo dos dados coletados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é implementar um sistema de automação dos testes unitários do firmware do FloripaSat-2 hospedado nos repositórios oficiais no *GitHub*. Esses *workflows* serão empregados durante o ciclo de desenvolvimento da

missão, executando os testes de forma automática seguindo os requisitos de execução estabelecidos pelo projeto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Apresentar uma introdução ao estado da arte referente a testes de software, desenvolvimento de CubeSats e relacionar os dois temas no contexto do FloripaSat-2;
2. Implementar *workflows* capazes de automatizar a execução de testes unitários;
3. Apresentar um estudo sobre os testes dos sistemas do FloripaSat-2 que foram implementados durante o andamento do projeto;
4. Disponibilizar códigos-fonte, dados de registro e resultados obtidos.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado do seguinte modo:

- O capítulo 2 apresenta a definição da metodologia utilizada e a formalização da fundamentação teórica utilizada na elaboração do trabalho;
- O capítulo 3 apresenta uma breve revisão de alguns trabalhos relacionados que abordam o desenvolvimento e testes de CubeSats;
- O capítulo 4 apresenta e descreve o sistema proposto;
- O capítulo 5 apresenta a descrição formal da implementação do sistema;
- O capítulo 6 apresenta uma análise dos resultados observados;
- O capítulo 7 traz as conclusões e considerações sobre o trabalho, e explora possíveis trabalhos futuros.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica utilizada na elaboração do trabalho, trazendo conceitos básicos de nanossatélites e automação de testes, além de um aprofundamento sobre desenvolvimento e implementação dos mesmos.

## 2.1 CUBESAT

CubeSats são uma categoria de satélites miniaturizados cuja principal característica é possuir dimensões e massa reduzidos. De acordo com o documento oficial de padrões de design (JOHNSTONE, 2020), CubeSats devem ter estrutura em formato de cubo de lado 100mm.

Essas características correspondem a uma unidade, ou um CubeSat 1U. Cubesats podem ser confiburados em múltiplas unidades, como 2U, 3U, 6U ou 12U.

O padrão CubeSat, cujas especificações formais são descritas no documento *CDS* (*CubeSat Design Specification*), foi desenvolvido pela *California Polytechnic State University*, e é um de projeto de colaboração internacional entre governos, universidades, escolas e o setor privado, com o principal objetivo de conceder acesso ao espaço para cargas pequenas, e possibilitar missões com objetivos diversos, como demonstrações de tecnologia, como foi o caso da missão Mars Cube One, desenvolvida pelo Jet Propulsion Laboratory e enviada à Marte (JPL, 2018), ou com objetivos educacionais, como os CubeSats desenvolvidos pelo SpaceLab da UFSC.

Os CubeSats tradicionalmente possuem custo e risco baixos. Por serem fabricados em sua maioria com peças e materiais provienientes de indústrias convencionais, o orçamento de uma missão não se compara aos orçamentos elevados de missões convencionais. E do mesmo modo, o risco de se perder um CubeSat em uma missão que resulte em falha não é tão impactante em termos orçamentários e de trabalho perdido. Esse fato faz com que esse tipo de missão seja ideal para ser utilizado com propósitos educativos por instituições de ensino. A missão FloripaSat-1 da UFSC, por exemplo, teve como um dos objetivos treinar e capacitar estudantes de engenharia no processo de desenvolvimento e operação de uma missão espacial (MARCELINO *et al.*, 2020).

## 2.2 TESTE DE SOFTWARE

A disciplina de testes de *software*, segundo Raul Wazlawick, se tornou extremamente importante no ciclo de desenvolvimento, sendo considerada por modelos ágeis como atividade crítica, muitas vezes determinando que os testes devem ser escritos antes mesmo da implementação dos componentes (WAZLAWICK, 2019).

Ainda segundo Wazlawick, quando se trata de teste é importante definir termos

que, apesar de parecerem sinônimos, tem significados distintos na área de testes de software, como apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Termos e definições na disciplina de testes de *software*

| Termo | Definição |
|---|---|
| Erro (*error*) | Diferença detectada entre o resultado de uma computação e o resultado correto esperado |
| Defeito (*fault*) | Linha de código, bloco ou conjunto de dados incorretos que provocam erros |
| Falha (*failure*) | Não funcionamento do *software*, possívelmente causada por algum defeito |
| Engano (*mistake*) | Ação que produz um defeito no *software* |

Fonte: (WAZLAWICK, 2019)

Ainda outra distinçao a ser feita é entre verificação, validação e teste:

> Verificação: consiste em analisar o *software* para ver se ele está sendo construído de acordo com o que foi especificado;
> Validação: consiste em analisar o *software* construído para ver se ele atende às verdadeiras necessidades dos interessados;
> Teste: é uma atividade que permite realizar a verificação e a validação do *software*.
> (WAZLAWICK, 2019)

A disciplina de testes de *software* abrange múltiplas áreas de interesse, e objetivo de testes, que variam desde testes de segurança e tolerância a falhas, integração de sistema testes de organização e estrutura internas (*white box testing* e testes de funcionalidade (*black box testing*) . Os testes empregados e utilizados como base para o estudo deste trabalho, são os testes de unidade, que são considerados os testes básicos, e tem o objetivo de verificar de maneira isolada o funcionamento correto de componentes do código. No FloripaSat-2, os testes de unidade foram implementados como descritos na Seção 4.6 e Seção 5.3.

## 2.3 AUTOMAÇÃO DE TESTES

Durante o tempo de vida de um projeto de um software ou um sistema de softwares, como é o caso de um projeto de satélites artificiais, os componentes envolvidos invariavelmente passarão por algumas mudanças. Mudanças essas que podem introduzir novos *bugs* em componentes que anteriormente funcionavam. A automação de testes, como definido pelos autores do livro *Software Test Automation - Effective use of test execution tools*, se dá pelo emprego de tecnologias que permitam que um caso de teste seja executado de maneira autônoma, sem intervenção ou monitoramento, de maneira muito mais eficiente(FEWSTER; GRAHAM, 1999) do que se executado via interação humana.

A etapa de testes é essencial em qualquer projeto de engenharia, e pode-se dizer que é ainda mais importante em projetos espaciais, já que erros de projeto, sejam eles de hardware ou firmware, podem resultar em falha da missão.

Este trabalho propõe adotar a ferramenta de automação de testes em uma missão CubeSat, mais específicamente a GOLDS-UFSC, desenvolvida pelo laboratório SpaceLab da Universidade Federal de Santa Catarina.

A missão GOLDS-UFSC utiliza os testes de software implementados para validar os subsistemas do FloripaSat-2.

## 2.4 METODOLOGIA

O trabalho propõe a implementação de um modelo de automação dos Testes de Unidade desenvolvidos para os subsistemas do FloripaSat-2, e apresenta detalhes sobre a motivação, construção e desenvolvimento desse modelo. Também é realizado um estudo e análise da implementação dos testes de unidade, onde é demonstrada a maneira como foram desenvolvidos, quais as tecnologias que permitem sua funcionalidade, e qual o seu papel no ciclo de desenvolvimento da missão.

Para isso, as ferramentas utilizadas são descritas em detalhes técnicos de funcionamento e finalidade, e são apresentados trechos de código desenvolvidos nas seções em que referências diretas às implementações se fazem úteis para a compreensão do projeto.

# 3 TRABALHOS RELACIONADOS

No motor de pesquisa acadêmica Google Scholar foram feitas pesquisas associando as áreas de conhecimento de desenvolvimento de nanossatélites, testes de software e automação de testes. As pesquisas foram realizadas ao longo da elaboração do trabalho e diferentes termos de busca foram utilizadas. Como critério para escolha das publicações à serem estudadas, foram analisados os resultados apresentados na primeira página do motor de busca. Para determinar a relevância de uma publicação para o trabalho, foi analisado o *abstract* e a introdução dos mesmos. Para os trabalhos relacionados apresentados neste capítulo os resultados e conclusõe stambém foram estudados.

Quadro 2 – Pesquisas realizadas

| *String* | Resultados |
|---|---|
| software+reliabilty+test | 565.000 |
| nanossatelite + design | 15.200 |
| software + test | 4.300.000 |
| software+test+automation | 1.970.000 |
| flatsat + cubesat | 359 |
| cubesat | 29.200 |
| flatsat + nanosatellite | 273 |
| cubesat + testbed | 3.510 |

Fonte: Autor.

## 3.1 SOFTWARE RELIABILITY GROWTH WITH TEST COVERAGE (MALAIYA *et al.*, 2002)

O termo "cobertura de testes", do inglês *test coverage* quantifica o grau de rigor dos testes. Existem ferramentas que são capazes de mensurar a cobertura de testes em diferentes termos, como *branches*, e inteção de uso. Os autores deste artigo trazem uma relação entre duração dos testes, cobertura e confiabilidade de software.

Desenvolvedores são capazes de atingir o nível de confiabilidade de *software* de maneira previsível a partir de análise de confiabilidade durante o desenvolvimento. Para quantificar essa métrica durante os testes, o código é executado com *inputs* selecionados aleatoriamente seguindo uma distribuição determinada. Dessa forma, se a distribuição utilizada for a mesma esperada durante a vida operacional do *software*, pode ser levantado um modelo de confiabilidade a partir dos resultados dos testes.

Os autores constatam, no entanto, que para focar os testes na detecção de falhas, é mais produtivo executar o código com *inputs* considerados especialmente para estimular comportamentos onde erros são mais prováveis, e propõem neste estudo um modelo para realizar essa mensuração. Dentre os resultados obtidos na

análise, os autores constatam que em muitos casos, um mínimo de 85 % de cobertura de testes é necessário para aumento significativo na confiabilidade do software em desenvolvimento.

## 3.2 HOW DO SOFTWARE DEVELOPERS USE GITHUB ACTIONS TO AUTOMATE THEIR WORKFLOWS? (KINSMAN *et al.*, 2021)

Ferramentas sociais de programação, como o GitHub, alteraram a natureza colaborativa de desenvolvimento de *software open source*, proporcionando novas oportunidades para engajamento, mas ao mesmo tempo aumentando a carga de trabalho de mantenedores de repositórios, que devem revisar, comunicar, explicar o projeto e gerenciar o versionamento de um número muito maior de colaboradores.

Para reduzir essa carga de trabalho intensiva, os autores estudam a ferramenta GitHub Actions, disponibilizada em 2019, que permite aos usuários automatizar questões como verificar se o código compila, se todos os testes são executados com sucesso, ou ainda se o código está dentro dos padrões de desenvolvimento do projeto. Esse controle pode ser feito segundo diversos *triggers*, como *commits*, comentários, *issues* ou *pull-requests*.

No artigo, os autores estudaram como desenvolvedores de software fazem uso da ferramenta para automatizar os fluxos de trabalho, como a ferramenta é discutida, e quais seus efeitos nos *pull requests* dos projetos. Com uma amostra de 3,190 repositórios ativos no GitHub, e análise estatística de 926 deles, foi constatado que apenas uma pequena parcela dos repositórios utiliza a ferramenta, mas que a plataforma é vista, em geral, como benéfica para os contribuidores. Entre esses repositórios, os autores encontraram 708 *workflows* de automação únicos.

Os autores relatam também que a utilização da ferramenta acarretou em diminuição da quantidade de aprovação de *commits* mensal, e aumentou a quantidade de *pull requests* rejeitados, experiências anedóticas revelam que a ferramenta e as funcionalidades que ela apresenta são recebidas com entusiasmo e apreciação pelos desenvolvedores.

## 3.3 AN ARCHITECTURE-TRACKING APPROACH TO EVALUATE A MODULAR AND EXTENSIBLE FLIGHT SOFTWARE FOR CUBESAT NANOSATELLITES (GONZALEZ *et al.*, 2019)

Um ponto importante para aumentar o sucesso de missões CubeSat é a entrega de *software* de voo de qualidade. Esse tópico é identificado como chave para elevar a qualidade de diversos pontos de uma missão, como reusabilidade, colaboração, redução de riscos e facilitação de desenvolvimento. Uma arquitetura *software* de voo apropriada representa os requisitos funcionais e não funcionais e guia o desenvolvi-

mento. Dessa forma, para atingir o nível de qualidade desejada a arquitetura deve ser monitorada durante todo o ciclo de desenvolvimento de *software*. Esse monitoramento, no entanto, é difícil e não-trivial.

Neste artigo, Gonzales *et al.* apresentam detalhes sobre a implementação de missões CubeSat que se mostraram bastante similares à metodologia empregada no desenvolvimento do FloripaSat-2. Os autores trazem em seu trabalho pontos importanes sobre como entregar software de qualidade, confiável e tolerante a falhas para missões CubeSat, que como toda missão espacial, tratam-se de sistemas críticos que de modo geral devem operar de maneira autônoma e cujo software e hardware não podem ser corrigidos após o lançamento.

Os pontos de maior relevância para este trabalho são os requisitos não-funcionais de uma missão CubeSat trazidos pelos autores, entre eles a confiabilidade e extensibilidade do código, e a metodologia de projeto e arquitetura do *software* de voo, como a distinção entre as camadas do sistema, utilização de repositórios e em especial os métodos de validação utilizando métodos de integração contínua como ferramenta para elevar a confiabilidade do sistema através de testes automatizados.

Os temas apresentados pelos autores serão discutidos de forma mais profunda na Seção 4.5 e Seção 5.1.

## 3.4 INTEGRATION AND VERIFICATION APPROACH OF ISTSAT-1 CUBESAT (MONTEIRO *et al.*, 2019)

Satélites artificiais precisam resistir a uma grande quantidade de adversidades enquanto operam em um ambiente hostil e inóspito. Por isso é essencial que sejam feitos testes extensivos para garantir o nível de confiança necessário para que o objetivos da missão sejam atingidos. Porém, missões de CubeSat tendem a não ser tão rigorosas em suas etapas de montagem, integração e verificação (AIV), fato que é refletido na taxa de missões que acabam em falhas.

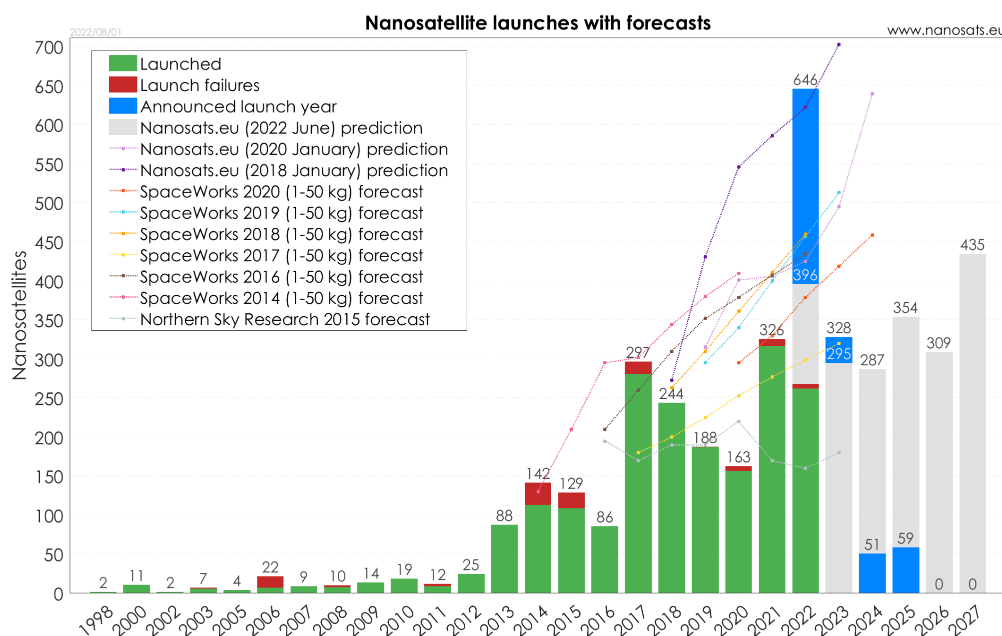
Esse paradigma, no entanto, está mudando a medida que a importância dos CubeSats aumenta. Ela vai de simplesmente projetos educacionais, até missões de custos e importância elevados. Um exemplo desse salto é a missão Mars Cube One, ou MarCO (JPL, 2018), desenvolvida pelo *Jet Propulsion Laboratory* da Nasa, que enviou dois CubeSats a Marte, para servirem como satélites de comunicação. Assim, os autores desse artigo apresentam a ideia de que integração e verificação em missões CubeSat passam a ser encaradas com mais seriedade, como demonstrado na figura 2, onde é possível observar o aumento de lançamento de nanossatélites e, paralelamente, a diminuição da taxa de falhas.

Como estudo de caso, o artigo apresenta o processo de AIV empregado no desenvolvimento do ISTSat-1 (ISTSAT-1. . . , 2021), o primeiro nanossatélite português, lançado em 2021 e que utilizou a estratégia de teste através de uma *FlatSat*, que se

trata de uma plataforma de testes de *Hardware In the Loop* (HIL).

A equipe do ISTSat-1, segundo os autores, optou por desenvolver a maioria dos subsistemas do satélite e adotou métodos ágeis para as atividades de AIV de forma a diminuir os riscos relacionados a falta de experiência da equipe. Dessa forma foi possível desenvolver e testar os módulos de forma contínua e iterativa, o que possibilitou a descoberta rápida de diversos erros e problemas que necessitavam de ajustes de design. Foi concluído nesse estudo que, caso a equipe tivesse optado por um processo de desenvolvimento em cascata, como tradicionalmente empregado em missões CubeSat, seria mais difícil, senão impossível, ter descoberto os mesmos problemas no design e funcionamento. Concluem então, que a adoção de processos iterativos é útil para projetos educacionais que contam com equipes sem muita experiência, ou sem muitos recursos financeiros.

Figura 2 – Lançamentos anuais de nanossatélites (previsão)




Fonte: Nanosats Database (KULU, ERIK, 2021)

## 3.5 QUALIFICATION AND VALIDATION TEST METHODOLOGY OF THE OPEN-SOURCE CUBESAT FLORIPASAT-I ("MARCELINO *et al.*, 2020)

Esta seção e a próxima apresentam dois trabalhos produzidos como resultado da missão FloripaSat-1, uma missão de demonstração desenvolvida inteiramente por estudantes da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cujo CubeSat foi lançado em 2019.

O FloripaSat-1 é composto de três módulos distintos, o sistema elétrico - EPS (*Electric Power System*), o módulo de gerência de dados - OBDH (*On-Board Data*

*Handling*) e o módulo de telemetria e telecomandos - TT&C (*Telemetry, Tracking and Command*).

O artigo informa que a missão tinha como objetivo testar tecnologias que possibilitem o desenvolvimento rápido e de baixo custo de satélites espaciais, além de treinar estudantes nas áreas de concepção, implementação e operação de uma missão espacial completa. Além disso, o FloripaSat-1 é um projeto *open source* e as informações de software e hardware dos módulos desenvolvidos estão disponíveis em repositórios públicos, para uso em futuras missões.

Os autores descrevem que o FloripaSat-1 foi desenvolvido com base em projetos de engenharia de sistemas, dividido em Modelos de protótipo (PM – *Prototype Model*), engenharia (EM-I e EM-II – *Engineering Model*) e finalmente o Modelo de voo (FM – *Flight Model*). Foram realizados testes em cada uma dessas etapas para validar os sistemas e os resultados, segundo o artigo, foram decisivos na detecção e correção de erros.

Apesar do artigo focar em integração e validação dos módulos a nível de hardware, julga-se relevante para a elaboração deste trabalho, que foca principalmente em software, por descrever as diferentes condições que uma missão espacial é submetida, além da metodologia de desenvolvimento adotada pela equipe do FloripaSat-1, em que a grande maioria dos membros seguiu para a missão FloripaSat-2, a qual este trabalho se baseia.

## 3.6 A CRITICAL EMBEDDED SYSTEM CHALLENGE: THE FLORIPASAT-1 MISSION (MARCELINO *et al.*, 2020)

Este artigo, elaborado também a partir da missão FloripaSat-1 do SpaceLab, apresenta definições e descrições dos subsistemas do satélite, além de algumas informações e resultados de testes e simulações realizadas nos mesmos.

Como descrito anteriormente, o FloripaSat-1 possui três sub sistemas principais:

- *Electric Power System* (EPS)
- *On-Board Data Handling* (OBDH)
- *Tracking, Telemetry and Command* (TT&C)

O EPS é o módulo responsável por distribuir, coletar e armazenar a energia utilizada pelo satélite. A energia é coletada através de painéis solares e armazenada em uma bateria de íons de lítio. A distribuição da energia é definida a partir de um microcontrolador que analisa os estados de carga e de energia e decide quais módulos permanecerão em operação.

O OBDH é o módulo responsável pela gerência de atividades do satélite. Ele realiza a interface entre todos os subsistemas do satélite. Os dados gerados são

empacotados e transmitidos através do TT&C, e dados recebidos são enviados ao OBDH para que ele execute a tarefa requisitada, ou então envie o comando ao módulo requisitado. Este módulo também possui uma memória, para que os dados possam ser futuramente recuperados.

Finalmente, o TT&C é o módulo responsável pela comunicação entre o satélite e as estações de controle na Terra. Ele opera através de dois módulos de rádio, um para a banda VHF e um para UHF. Os comandos a serem enviados e recebidos pelo satélite (*downlink* e *uplink*) são transmitidos através do módulo UHF, e a banda VHF é reservada para transmissões do tipo *beacon*.

Os autores discorrem ainda sobre os demais módulos e subsistemas do satélite, como outros *payloads* que não foram desenvolvidos ou projetados pela equipe da UFSC e portanto, ficam de fora desse breve resumo.

A relevância deste artigo se dá pelo fato de que o FloripaSat-2 utiliza a mesma estrutura de subsistemas, com os seus módulos sendo sucessores diretos do software e hardware utilizados na missão anterior, operando de forma idêntica ou muito similar.

## 3.7 IN-ORBIT PRELIMINARY RESULTS FROM THE OPEN-SOURCE EDUCATIONAL NANOSATELLITE FLORIPASAT-I (MARCELINO *et al.*, 2021)

O FloripaSat-1, como mencionado anteriormente, constituiu uma missão CubeSat desenvolvida na Universidade Federal de Santa Catarina, em que os objetivos incluiam testar tecnologias que permitissem desenvolvimento mais rápido e menos custoso de satélites futuros através do reuso da estrutura *open source*. Lançado em 2019 em um foguete Chinês Long March 4B, os dados transmitidos pelo satélite foram usados como métricas de validação da missão, permitindo aos desenvolvedores (em sua maioria estudantes da UFSC) traçar paralelos entre os dados de órbita e as análises obtidas em laboratório.

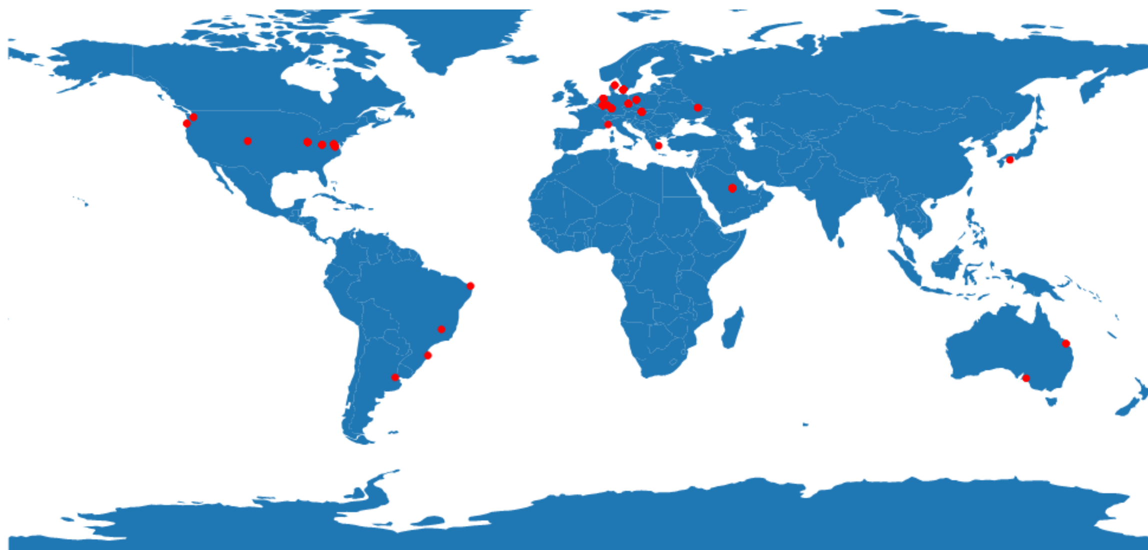
Os autores apresentam uma análise dos resultados coletados durante os primeiros três meses da missão, além das lições aprendidas através dos dados recebidos.

O FloripaSat-I foi lançado em uma órbita heliossíncrona, que se trata de uma configuração de órbita quase polar, onde o plano de órbita é sempre fixo em relação ao Sol, e o objeto em órbita passa sobre a mesma região da superfície no mesmo instante todos os dias.(TSCHERBAKOVA *et al.*, 1998).

Os dados enviados pelo satélite foram coletados em múltipas estações espalhadas pelo mundo, como apresentado na figura Figura 3, e decodificados através de um *software* de estação terrestre desenvolvido no laboratório.

No estudo publicado, os autores elencam algumas das dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da missão e reveladas pelos dados do satélite em órbita, em especial dificuldades na montagem, que pode ter acarretado em problemas estruturais

Figura 3 – Estações que receberam dados enviados pelo FloripaSat-I nos três primeiros meses da missão.



Fonte: (MARCELINO *et al.*, 2021)

e de funcionamento, e de frequências utilizadas, que dificultaram a comunicação.

Além disso, foi realizada uma análise com os participantes do projeto com o intuito de compreender como a missão os afetou, e os resultados obtidos foram em geral percebidos como positivos pelos estudantes, que reportaram não apenas evolução de aprendizado e de experiência de desenvolvimento.

## 3.8 CONSIDERAÇÕES

Os artigos e teses escolhidos para embasar e fundamentar este trabalho estabelecem a importância de um modelo de testes bem estruturado em um projeto de desenvolvimento de *software*. Todos os trabalhos relacionados a missões CubeSat mencionam a importância dos testes para a descoberta e solução de erros, bem como a relação entre a execução e planejamento dos testes e o aumento de confiabilidade do *software*, como demonstrado pelo estudo apresentado na Seção 3.1.

O artigo apresentado na Seção 3.3 é especialmente interessante para a proposta desse trabalho por descrever em detalhes o processo e as práticas de desenvolvimento aplicadas na série de nanossatélites *SUCHAI*, que se assemelham ao modelo proposto neste trabalho. Os autores citam diversos modelos e práticas de desenvolvimento que são, em essência, seguidos de maneira muito próxima pela missão FloripaSat-2, como será evidenciado no Capítulo 4 e Capítulo 5.

O artigo analisado na Seção 3.7, apresenta uma análise dos resultados obtidos nos meses iniciais de operação do FloripaSat-1, bem como uma análise do impacto do satélite nos estudantes envolvidos no projeto. Este artigo demonstra as dificuldades

encontradas no desenvolvimento da missão, e servem o propósito de indicar pontos de atenção e melhoria para trabalhos futuros, como é o caso do FloripaSat-2, que se inspira e por vezes diretamente reimplementa os sistemas utilizados no seu antecessor.

Além disso, os outros dois trabalhos produzidos por membros do SpaceLab, descritos na Seção 3.6 e Seção 3.5, que relatam o processo de desenvolvimento da missão FloripaSat-1 mostram a importância de CubeSats como ferramenta educacional, servindo para treinar e capacitar estudantes no projeto, desenvolvimento e operação de uma missão espacial completa.

O modelo proposto por este trabalho é, então, uma continuidade dos pensamentos apresentados neste capítulo. Espera-se que o sistema implementado permita aumentar a qualidade e a confiabilidade do código entregue através de técnicas de integração contínua para automatizar os testes de unidade dos sistemas embarcados desenvolvidos para o FloripaSat-2, além de possibilitar mais uma ferramenta com potencial de estudo e aprendizado, sob a qual podem ser empregadas futuras ferramentas para analisar e expandir o modelo, como detalhado na Seção 7.1.

# 4 FLUXO DE AUTOMAÇÃO DE TESTES

Este capítulo descreve e formaliza o sistema proposto. A motivação para este sistema surgiu a partir de reuinões e conversas com as equipes de desenvolvimento do FloripaSat-2 no SpaceLab, onde foi decidido adotar um modelo de testes que utilize nções de integração contínua para automatizar o processo de publicar e testar os subsistemas desenvolvidos para o FloripaSat-2.

O sistema proposto leva em consideração o ambiente de desenvolvimento, os objetivos da missão e as características do projeto para desenvolver um modelo cuja finalidade é facilitar e agilizar o ciclo de desenvolvimento, simultaneamente elevando a confiabilidade dos sistemas ao aumentar a cobertura de teste, como constatado por (CHEN *et al.*, 2001), cujo estudo apontou a correlação entre cobertura de teste e confiabilidade do software, como detalhado na Seção 4.5.

## 4.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema proposto proporciona um ambiente de desenvolvimento onde os testes de software são executados de maneira automática e decentralizada, nos repositórios da missão FloripaSat-2. Essa abordagem proporciona, a princípio, dois pontos importantes:

- A garantia de que toda alteração, adição ou remoção de código seja testada com a mesma precisão;
- Um ambiente transparente e universal para expor os testes executados e seus resultados.

A missão FloripaSat-2 possui três subsistemas próprios, desenvolvidos inteiramente no laboratório. Esses subsistemas estão descritos com mais detalhes na seção 5.1. Por esse motivo foi decidido durante o planejamento do sistema que seria necessário implementar um modelo que pudesse ser reproduzido de maneira simples e rápida em outros repositórios, para que todo código desenvolvido para a missão fosse tratado da mesma maneira. Para isso, foi implementado uma convenção de hierarquia de arquivos e nomenclatura, de modo a garantir a reusabilidade do modelo proposto, sem que seja preciso realizar grandes alterações. Como consequência, esse padrão acarreta em maior consistência entre os subsistemas do satélite. O padrão proposto está descrito em detalhes na Seção 4.4. No entanto, ele será melhor compreendido uma vez que se conheça o contexto de implementação. Por esse motivo, as próximas seções apresentam detalhes sobre funcionamento e implementação do modelo proposto.

## 4.2 O MODELO

A implementação dos subsistemas do FloripaSat-2 é hospedada nos repositórios da missão no GitHub. Por esse motivo foi decidido utilizar a ferramenta de CI/CD desenvolvida pela própria plataforma, a GitHub Actions (GITHUB, s.d.), que proporciona um ambiente *plug and play*, onde os *workflows* são implementados e executados na própria plataforma, sem dependências externas.

O modelo foi pensado para possibilitar testar de maneira automática os sistemas embarcados do FloripaSat-2. Os módulos passam por testes unitários e análise estática, visando identificar e corrigir falhas e defeitos (melhor discutidos na Seção 2.2), e a partir disso elevar a confiabilidade do sistema de um modo geral, como exemplificado por (CHEN *et al.*, 2001).

Considerando esses pontos, os princípios básicos do modelo proposto são:

- Testar os subsistemas de maneira automática;
- Utilizar o GitHub Actions como hospedagem;
- Ser facilmente transferido e implementado em outros projetos.

## 4.3 FUNCIONAMENTO

O modelo proposto se trata de um fluxo de execução constituído por três ações principais: a execução de um *script* responsável por identificar e automatizar o processo; A compilação de arquivos fonte; e a execução dos arquivos compilados. Conforme elaborado na Seção 5.2, o modelo se comporta de maneira diferente no caso de execução de Análise Estática. Nesses casos, o fluxo pode ser dividido em duas etapas: a execução do *script* para identificar os arquivos fonte; e a análise estática destes mesmos arquivos.

O funcionamento detalhado do modelo é discutido em detalhes na Seção 5.4.3, mas de maneira breve, a execução de modo geral segue a seguinte cronologia:

1. Um evento $x$ dispara a execução do script, que identifica os arquivos fonte $y$;
2. Os arquivos $y$ são compilados, gerando binários executáveis $z$;
3. Os binários $z$ são executados, e é gerado um relatório sobre o processo ao final da execução.

Como um dos requisitos do modelo é a possibilidade de implementação em diferentes projetos, se faz necessário a padronização de alguns pontos dos projetos, de modo que as ações do fluxo de execução possam ocorrer com pouca ou nenhuma manutenção. O padrão desenvolvido está descrito na Seção 4.4 a seguir.

## 4.4 PADRÃO DE PROJETO

De modo a garantir o funcionamento correto do modelo proposto em diferentes projetos, foi necessário padronizar o modo como o *script* de automação identifica os arquivos relevantes. Para que isso aconteça, foi proposto um padrão de estrutura e nomenclatura de arquivos. Desta forma o sistema encontraria os arquivos sempre no mesmo local, e poderia a princípio ser simplesmente copiado para outros repositórios.

A título de compreensão do padrão, o trecho a seguir detalha a estruturação de um subsistema do FloripaSat-2, tomando como exemplo o commit *28c31e7a7db69240f1700ec3621436b14c517529* da branch `dev_firmware` do repositório do OBDH 2.0 (OBDH 2.0, 2020). A partir da raiz do diretório, o projeto é estruturado da seguinte forma[1]:

- *.github/workflows*
- doc
- firmware
  - app
  - config
  - devices
    - device 1
    - device 2
    - ...
    - device n
  - drivers
    - driver 1
    - driver 2
    - driver ...
    - driver m
- hardware
- tests
  - devices
  - drivers
  - mockups[2]

[1] alguns arquivos e diretórios foram omitidos de modo a deixar o exemplo didático.

Ao padronizar a hierarquia de arquivos do projeto, obtem-se a garantia de que os *scripts* sempre funcionarão corretamente, já que buscará os arquivos necessários sempre na mesma localização. O outro aspecto do padrão estabelecido é a nomenclatura dos arquivos de teste, tanto arquivos fonte como os binários compilados. O padrão de nomenclatura foi definido da seguinte forma:

Arquivos de teste são nomeados `<alvo>_test.c`;

Arquivos *mockup* [2] são nomeados `<alvo>_wrap.c`;

Executáveis são nomeados `<alvo>_unit_test`.

Se a estrutura de arquivos for modificada, no entanto, ou outros diretórios com código a ser testado forem adicionados, haverá a necessidade de alterar os *scripts* de automação para incluir as novas localizações. E do mesmo modo, caso um arquivo seja criado com um nome fora do padrão, ele não será localizado e compilado durante a execução dos *workflows*.

## 4.5 CONFIABILIDADE

Foi demonstrado que testes e confiabilidade são muitas vezes temas correlacionados em engenharia e projeto de software (MALAIYA *et al.*, 2002).

Missões espaciais constituem sistemas críticos, e nanossatélites CubeSat não são exceção. Eles devem operar de maneira autônoma por anos, e em muitos casos sem oportunidade de manutenção de hardware e firmware. Entre os muitos requisitos não-funcionais que devem ser considerados em missões CubeSat, os autores Gonzales *et al.* trazem esses fatos como razão para que os sitemas empregados em satélites sejam extensivamente testados de modo a mitigar a maior quantidade possível de possibilidades de falha. No entanto, devido à natureza de uma missão espacial, "atingir cobertura de código integral é impraticável na maioria dos casos"(GONZALEZ *et al.*, 2019). Por isso, eles sugerem alguns outros modelos de desenvolvimento para reduzir pontos de falha, como por exemplo a implementação e utilização de um *datapath* claro e simples, limitar o uso de *mutexes* e alocação dinâmica de memória e, no caso do FloripaSat-2, optou-se por reduzir a utilização de numeração em ponto flutuante por questões de desempenho e consumo energético. A aplicação dessas *guidelines* no FloripaSat-2 são analisadas na Seção 5.1

## 4.6 TESTES DE UNIDADE

Os Testes de Unidade (do inglês *unit tests*) são, como apresentado por Raul Wazlawick:

[2] funcionamento e o propósito dos *mockups* são descritos na Seção 5.3.1.1

> "Os [testes] mais básicos costumam consistir em verificar se um componente individual do *software* (unidade) foi implementado corretamente. Esse componente pode ser um método ou procedimento, uma classe completa ou, ainda, um pacote de funções ou classes de tamanho pequeno ou moderado. (WAZLAWICK, 2019).

Os testes de unidade são, segundo o autor, comumente implementados pelo próprio desenvolvedor, durante a produção do código. O objetivo desse modelo, e garantem pelo menos que "todos os comandos e decisões do componente implementado tenham sido exercitados para verificar se eles tem defeitos".

Os testes de unidade implementados para os subsistemas do FloripaSat-2 seguem os princípios e propósitos apresentados acima, e o modelo proposto visa fornecer uma plataforma para que os componentes desenvolvidos sejam testados de maneira automática e consistente, sempre que uma nova alteração é publicada.

Detalhes sobre a implementação dos testes de unidade para a missão FloripaSat-2 estão apresentados na Seção 5.3, mas a princípio eles foram desenvolvidos para testar os *devices*, implementações dos componentes presentes nos subsistemas do satélite, como por exemplos sensores de temperatura e corrente, e os *drivers*, implementações de acesso ao *hardware* dos subsistemas.

## 4.7 ANÁLISE ESTÁTICA

A análise estática, como colocada pelos autores Ayewah *et. al.* (2008):

> Avaliam o *software* no abstrato, sem executá-lo ou considerar um *input* específico. Ao invés de tentar provar que o código cumpre suas especificações, estas ferramentas procuram por violações de práticas razoável ou recomendadas de desenvolvimento(AYEWAH *et al.*, 2008)

Ferramentas de análise estática são úteis também, segundo os autores, para "encontrar locais onde o código possa dereferenciar um ponteiro nulo, ou onde ocorra *overflow* em *arrays*"(AYEWAH *et al.*, 2008).

A análise estática é empregada no desenvolvimento dos subsistemas do FloripaSat-2 através da ferramenta CPPCheck (CPPCHECK. . . , s.d.), que permite detectar problemas de *undefined behaviour* e construções de código perigosas. A ferramenta também analisa código que não siga a sintaxe padrão da linguagem, como é comum em sistemas embarcados. Mais detalhes sobre o emprego e o funcionamento da ferramenta de análise sintática no FloripaSat-2 está descrita na Seção 5.2.

# 5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Este capítulo apresenta e detalha as implementações dos fluxos de execução hospedados no GitHub Actions e alguns dos testes unitários desenvolvidos, conforme mencionados no Capítulo 4.

Para contextualização do modelo, bem como compreensão do ambiente de desenvolvimento, a Seção 5.1 apresenta um detalhamento sobre a missão e como ela é dividia, em termos de desenvolvimento. Como discutido anteriormente, o FloripaSat-2 utiliza a filosofia Free Open Source Software, com a licença *GNU GPL-3.0* (GNU SOFTWARE FOUNDATION, 2021) e portanto todos os módulos e subsistemas desenvolvidos estão publicados em repositórios abertos, no GitHub da missão. As seções 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3 referenciam em seu texto os repositórios oficiais de cada um dos subsistemas desenvolvidos no SpaceLab.

## 5.1 FLORIPASAT-2

Segundo Gonzales *et. al.* (2019), "o *software* de vôo de uma missão CubeSat constitui um dos elementos essenciais para garantia do sucesso da missão, já que é onde são implementados grande parte dos requisitos funcionais da missão". (GONZALEZ *et al.*, 2019). Segundos os autores, é o que também permite que missões CubeSat sejam escaláveis e reutilizáveis.

De fato, o FloripaSat-2 se beneficia destas propriedades. A missão é precedida pelo FloripaSat-1, lançado em dezembro de 2019, e como apresentado na Seção 3.6, visa aperfeiçoar a metodologia e a prática de desenvolvimento. Por consequencia, os módulos e substistemas, tanto *hardware* como *firmware* foram planejados para serem diretamente herdados do FloripaSat-1 ou atualizações de suas versões.

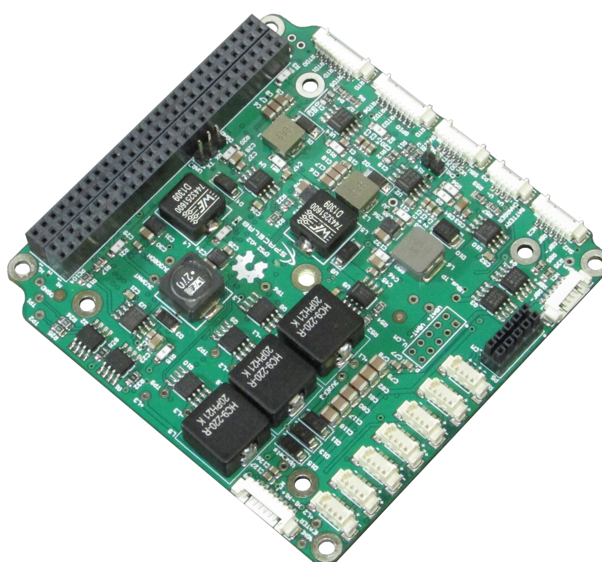
Este trabalho foi em sua maioria focado nos subsistemas EPS 2.0 e OBDH 2.0 por estarem em estágios mais avançados de desenvolvimento, e os códigos-fonte discutidos e apresentados se encontram nos repositórios oficiais e públicos da missão, em (EPS 2.0, 2020) e (OBDH 2.0, 2020) respectivamente. Trechos relevantes do *firmware* são apresentados e explicados neste capítulo, e apresentados em um contexto mais amplo nos anexos e apêndices ao final do documento. Por se tratarem de projetos relativamente grandes em questão de extensão de código, eles não foram anexados integralmente nesta monografia, que se beneficia do caráter público dos projetos do SpaceLab. Toda a implementação mencionada pode ser encontrada nos repositórios do FloripaSat-2 no GitHub(SPACELAB - UFSC, 2021).

### 5.1.1 EPS 2.0

O EPS 2 (*electrical power system* – Figura 4) é responsável por coletar, armazenar e distribuir energia para o FloripaSat-2. A coleta de energia é feita através de 10 painéis solares posicionados ao longo da estrutura do satélite, e é armazenada em 4 baterias de íons de lítio. A distribuição de energia é feita através de conversores DC-AC. Tal qual o módulo desenvolvido para o FloripaSat-1(MARCELINO *et al.*, 2020) o EPS 2.0 possui um chip DS2775G+ utilizado para controlar carga e descarga da bateria, além de monitorar alguns parâmetros como corrente e tensão. O EPS, com base nessas informações, executa suas rotinas de distribuição de energia, decidindo quais módulos e quais funcionalidades devem permanecer em operação. O EPS 2 também é capaz de controlar a temperatura das baterias, e conta com sensores de temperatura e aquecedores.

O projeto e implementação do EPS 2.0 está disponível em seu repositório (EPS 2.0, 2020).

Figura 4 – Hardware do *EPS 2.0*.



Fonte: SpaceLab (SPACELAB - UFSC, 2021)

### 5.1.2 TTC 2.0

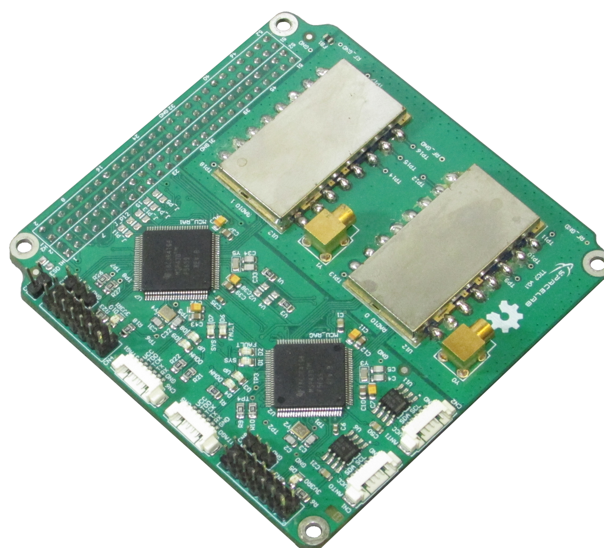
O módulo TTC 2 (Ou TT&C, *Telemetry, tracking & Telecommand* – Figura 5) é o módulo de comunicação do FloripaSat-2. É função dele realizar a comunicação entre o satélite e a *groundstation*. A comunicação com a estação terrestre será feita de duas maneiras, um sinal de *beacon* e um de telemetria.

O *beacon* transmite um sinal periódico contendo alguns dados básicos de identificação do satélite em conjunto com informações básicas de telemetria. O módulo de telemetria é o responsável pela comunicação de fato. Têm um módulo de comunicação

bidimensional para receber telecomandos da Terra e transmitir os dados requisitados. O submódulo de telemetria é controlado por devices externos (como por exemplo o OBDH).

O projeto e a implementação do TTC 2.0 está disponível em seu repositório (TTC 2.0, 2020).

Figura 5 – Hardware do *TTC 2.0*.



Fonte: SpaceLab (SPACELAB - UFSC, 2021)

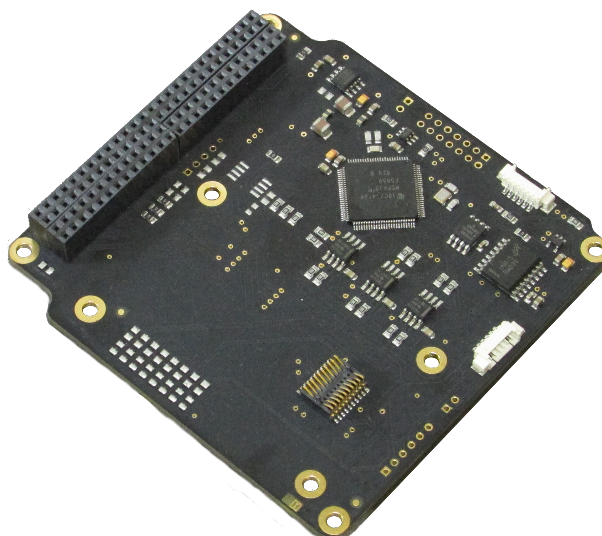
### 5.1.3 OBDH 2.0

O OBDH 2.0 (*On-Board Data Handling* – Figura 6) é responsável pela sincronização das ações e o fluxo de dados entre os outros módulos do FloripaSat-2 e a groundstation. O OBDH organiza os dados em *data frames* e transimte através do TTC, ou armazena em memória não-volátil para transimssão em outro momento. Dados recebidos da groundstation são captados pelo TTC e direcionados para o OBDH, que realiza a ação apropriada ou transmite para o módulo apropriado.

O OBDH também é responsável por sincronizar e fazer a interface entre os demais subsistemas do satélite, e para isso, de maneira similar ao módulo desenvolvido para o FloripaSat-1, o OBDH 2 utiliza como sistema operacional o (FREERTOS. . . , s.d.). O sistema operacional de tempo real, nesse caso, é utilizado para garantir a execução das tarefas dentro dos limites de tempo estabelecidos (MARCELINO *et al.*, 2020).

O projeto e a implementação do OBDH 2.0 está disponível em seu repositório (OBDH 2.0, 2020).

Figura 6 – Hardware do *OBDH 2.0*.



Fonte: SpaceLab (SPACELAB - UFSC, 2021)

## 5.2 ANÁLISE ESTÁTICA

Como apresentado na Seção 4.7, a análise estática de código fornece um meio de obter informações sobre o código desenvolvido, encontrar e corrigir erros potenciais sem precisar compilar o código, o que se mostra bastante benéfico em projetos complexos e interdependentes, como *firmware* do FloripaSat-2. O uso de ferramentas de análise estática também garante maior precissão e segurança em códigos críticos.(WICHMANN *et al.*, 1995). Segundo os autores, a análise estática tem duas características principais que devem ser mantidas em mente quando utilizadas: "natureza"e "profundidade"(*nature* e *depth*, no original):

> natureza: é o objetivo amplo da análise, que pode ser adequação a algum padrão de linguagem, ou a corretude de algum aspecto em relação à especificaçao do programa;
>
> profundidade: indica a profundidade semântica da análise. Por exemplo, a análise de layout de um programa é rasa (...) enquanto provar um programa tem profundidade. (WICHMANN *et al.*, 1995).

Wichman *et. al.* relatam que análise estática é efetiva e complementar à testagem dinâmica, e seu uso é recomendado no desenvolvimento de sistemas críticos.

Como mencionado na Seção 4.7, os repositórios do FloripaSat-2 utilizam a ferramenta CPPCheck para análise estática de código, que verifica questões problemas com limites, tipagem, retornos e chamadas de funções. A lista completa de verificações feitas pode ser encontrada na página oficial da ferramenta, disponível em (CPPCHECK. . . , s.d.). Até o momento da escrita desta seção, a análise estática está implementada no módulo OBDH 2, onde é feita a verificação de todo o código interno

implementado para o subsistema, com exceção dos testes. Seu uso foi configurado no modelo de automatização descrito na Seção 4.2 e detalhado na Seção 5.4.

## 5.3 TESTES DE UNIDADE

### 5.3.1 CMocka

Para a implementação dos testes de unidade nos módulos do FloripaSat-2, foi utilizada a ferramenta (CMOCKA. . . , s.d.), que implementa um framework de testes cuja única dependência é a biblioteca padrão C. Além disso, os testes escritos através da biblioteca são compilados em executáveis *stand-alone* e, o mais importante para o projeto, suportam o uso de *Mock Objects*, programas que simulam de maneira controlada o funcionamento de um sistema real. No caso do FloripaSat-2, os *mockups* foram utilizados com o intuito de simular interações, dependências e chamadas *I/O* de programas externos ao alvo do teste.

Testes de unidade tem melhores precisão e eficiência quando empregados de maneira isolada e contida, para testar componentes e funcionalidades singulares. O componente sob teste deve ser analisado de maneira pura sem dependências e comunicações externas, pois isso acarretaria em introduzir código não testado para avaliar o funcionamento correto do componente desejado. Essa introdução pode trazer consigo *bugs* e defeitos inesperados, para os quais o teste não está preparado para receber, impedindo o propósito do teste.

De maneira simples, para testar um determinado componente *a*, que depende dos componentes *b* e *c*, a melhor maneira de fazê-lo seria encontrar uma maneira de fazer com que *a* possa contornar *b* e *c*, sem precisar que eles sejam invocados durante sua execução. Essa funcionalidade, a qual o prof. Raul Wazlawick nomeia *stub* em seu livro (WAZLAWICK, 2019), é oferecida pela biblioteca Cmocka através dos *Mock Objects* (Seção 5.3.1.1)

#### 5.3.1.1 Um *Mock Object* na biblioteca CMocka

Como discutido anteriormente, a maior utilidade dos objetos *mock* para o FloripaSat-2 é possibilitar a simulação de funções e componentes externos ao alvo do teste. Os *Mock Objects* entram no projeto como forma de isolar o teste, de forma que qualquer erro ou defeito de implementação encontrado esteja localizado no próprio componente a ser testado.

Dando continuidade ao exemplo iniciado na Seção 5.3.1, ao escrever o teste para o componente *a*, podemos criar um objeto *mock* para os componentes *b* e *c*, de modo que sempre que *a* realizar alguma chamada à *b* ou *c*, teremos controle sobre o envio e o retorno das chamadas, garantindo que somente o código de *a* estará sendo executado, sem que bugs externos atrapalhem seu processo de teste.

A CMocka utiliza a funcionalidade `-wrap` do ligador. o manual do *GNU Linker* diz:

> –wrap=symbol
>
> Utilize uma função *wrapper* para `symbol`. Qualquer referência não definida à `symbol` será resolvida como `__wrap_symbol` (...)
>
> (GNU. . . , 1994)

Segue então que, para testar de maneira isolada o componente *a* devemos implementar funções *mock __wrap_b* e *__wrap_c*. O teste de *a* seria compilado, então, através do comando

```
gcc a_test --wrap=b,--wrap=c
```

Dessa forma, *a* será compilado normalmente, mas chamadas à *b* e *c* serão resolvidas como chamadas aos seus respectivos *wrappers*.

Dentro de um arquivo de teste uma função que testa um componente que fará uma chamada à um *wrapper* deve preparar anteriormente à execução do componente, o que a função *wrapper* receberá e/ou retornará. No teste isso é feito através das funções `expect_`. Consequentemente, a função *wrapper* deve verificar a existência e a corretude do parâmetro enviado, através da função `check_expected`. Essas duas funções permitem ao desenvolvedor e consequentemente ao próprio teste, saber de antemão qual o conteúdo das mensagens a ser trocadas, e qual o conteúdo das mesmas, podendo facilmente identificar se houve algum problema no percurso.

Caso a função *wrapper* deva retornar algum valor, isso pode ser feito dentro do teste através da função *will_return*, que especifica exatamente o que o *wrapper* retornará, e o que vai ser recebido pelo componente testado. O Código 5.1 dá continuidade ao exemplo anterior, exemplificando em código (relativamente) válido:

```
1  static void a_test (void **state) {
2      expect_value(__wrap_b, valor_b, 0);
3      will_return(__wrap_b, 1);
4
5      expect_value(__wrap_c, valor_c, 1);
6      will_return(__wrap_c, 0);
7
8      assert_return_code(a(0, 1), 0);
9  }
10
11 int __wrap_b(int valor_b) {
12     check_expected(valor_b)
13     return mock_type(int);
14 }
15
```

```
16                  int __wrap_c(int valor_c) {
17                      check_expected(valor_c);
18                      return mock_type(int);
19                  }
20
21                  int a(int valor_b, int valor_c) {
22                      int return_b = b(valor_b);
23                      int return_c = b(valor_c);
24
25                      return 0;
26                  }
27
```

Código 5.1 – Exemplo de implementação e chamada de *mock objects*

Exemplos dessas funções implementadas em testes reais no módulo EPS 2 do FloripaSat-2 estão apresentados nos trechos de código 5.2 e 5.3.

```
1 int __wrap_adc_read(adc_port_t port, uint16_t *val)
2 {
3     check_expected(port);
4
5     uint16_t adc_val = mock_type(uint16_t);
6
7     if (val != NULL)
8     {
9         *val = adc_val;
10    }
11
12    return mock_type(int);
13 }
```

Código 5.2 – *Mock Function* do driver *adc*

Neste trecho de código do arquivo `adc_wrap.c` (disponível integralmente no apêndice A), É possível observar os mesmos princípios discutidos no exemplo anterior sendo aplicados na prática para testar os componentes. O *ADC* nesse caso se refere à um conversor analógico-digital (*analog-digital converter*).

No EPS, o *device* `temp_sensor.c` utiliza o driver *adc* para ler alguns sensores de temperatura, como parte da funcionalidade de controle térmico da bateria, conforme apresentado na Seção 5.1.1. Dessa forma, para testar o temp_sensor, foram implementadas funções *wrapper* para todas as chamadas ao *driver adc*.

```
1 static void temp_mcu_read_c_test(void **state)
2 {
3     uint16_t i = 0;
4
5     for (i = TEMP_SENSOR_ADC_MIN_VAL; i <= TEMP_SENSOR_ADC_MAX_VAL; ++i)
6     {
```

```
7        expect_value(__wrap_adc_read, port, TEMP_SENSOR_ADC_PORT);
8
9        will_return(__wrap_adc_read, i);
10       will_return(__wrap_adc_read, 0);
11       will_return(__wrap_adc_temp_get_mref, TEMP_SENSOR_ADC_MREF_VAL);
12       will_return(__wrap_adc_temp_get_nref, TEMP_SENSOR_ADC_NREF_VAL);
13
14       int16_t temp_c = INT16_MAX;
15
16       int result = temp_mcu_read_c(&temp_c);
17
18       assert_return_code(result, 0);
19       assert_in_range(temp_c + 300, TEMP_SENSOR_MIN_VAL_C + 300,
     TEMP_SENSOR_MAX_VAL_C + 300);
20   }
21 }
```

Código 5.3 – função teste temp_sensor

## 5.4 AUTOMAÇÃO

Como descrito anteriormente, o objetivo de automatizar a execução dos testes é potencializar os ganhos de confiabilidade nos sistemas desenvolvidos, além de garantir a corretude do código produzido através de uma cobertura de testes elevada. Esses objetivos foram almejados utilizando a ferramenta GitHub Actions, aproveitando-se do fato de que o desenvolvimento da missão já estava anteriormente hospedada no GitHub.

### 5.4.1 GitHub Actions

Disponibilizada em 2019, GitHub Actions é uma API *event-driven* para automatizar *workflows* de desenvolvimento, que podem ser configurados para executar diversas atividades, a partir de diferentes tipos de eventos.

Um evento, como definido pelos autores Kinsman *et. al.*(2021):

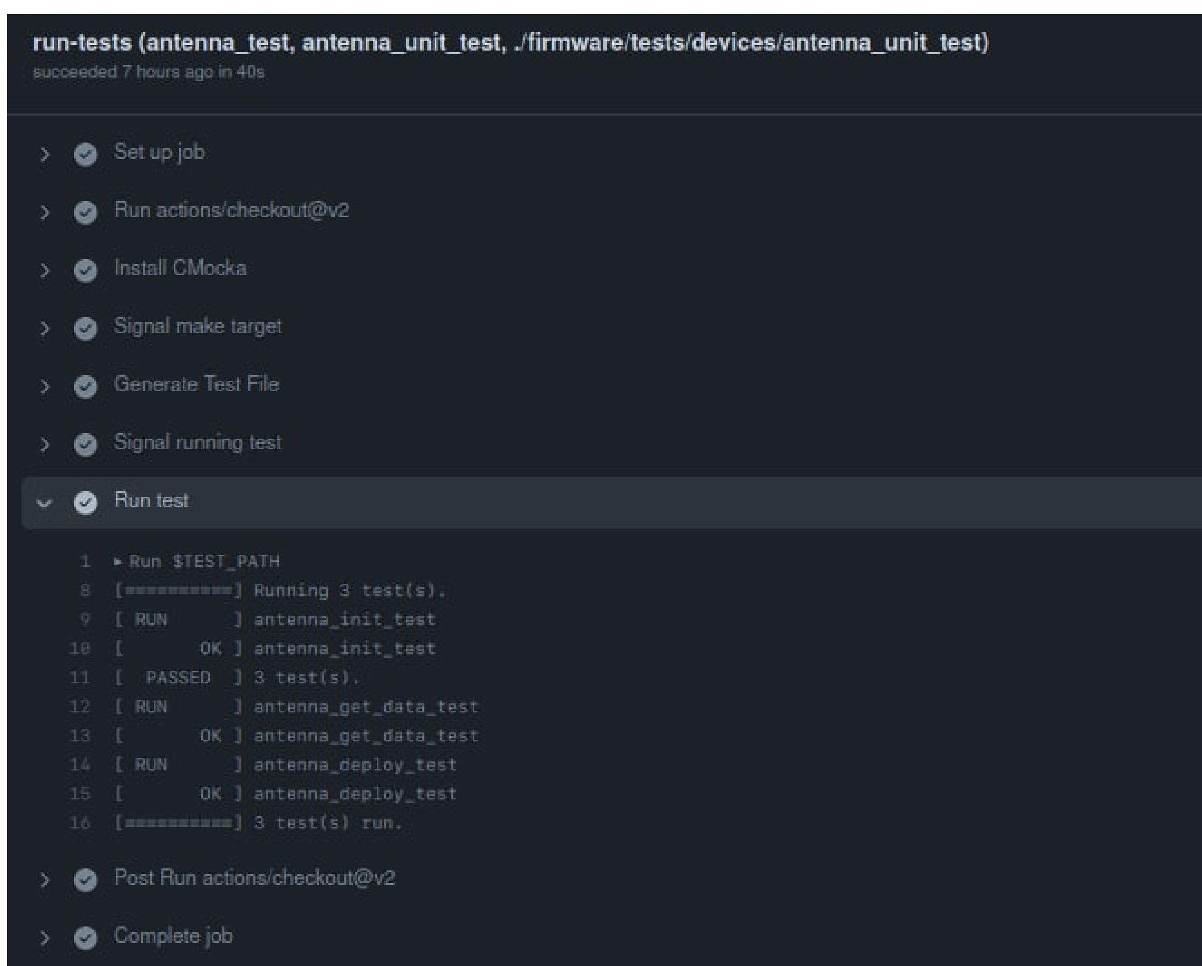
> É uma atividade específica que dispara a execução de um *workflow* (...) Por exemplo, um *workflow* é disparado quando um *pull-request* é criado, ou quando ocorre um *merge* na *branch* principal do repositório. (KINSMAN *et al.*, 2021)

Os *workflows* executados pela ferramenta são escritos em linguagem *YAML*, e são implementados no diretório `.github/workflows`, na raíz do repositório.

Um repositório pode ter um ou mais *workflows*. De fato, os repositórios do FloripaSat-2, especialmente o módulog OBDH 2 (OBDH 2.0, 2020), contem três *workflows* distintos: um para execução dos testes de unidade dos *drivers*, o segundo com a mesma finalidade, para os testes de *devices*, e um terceiro para a execução da análise

estática do código. Após a execução dos *workflows*, os resultados são apresentados em uma tela com *logs*. Existem outras formas de tratar as mensagens de execução, mas a missão optou por visualizar as mensagens desta maneira, que não envolve outras configurações. A figura Figura 7 demonstra um exemplo de mensagem de *log* após a execução com sucesso de um *workflow* de testes.

Figura 7 – Tela de resultados após a execução de um *workflow*.




Fonte: OBDH 2 (OBDH 2.0, 2020)

Os *workflows* nos repositórios da missão são organizados em duas etapas distintas, separadas em Pré-Execução e Execução propriamente dita, descritos nas seções 5.4.2 e 5.4.3, respectivamente.

### 5.4.2 Pré-Execução

Na etapa de Pré-Execução, são realizadas algumas tarefas para preparar o *workflow*. Configurações iniciais, como escolha de sistema operacional e download e instalação de pacotes necessários foram omitidas, por se tratarem de configuração padrão da ferramenta, e não tem relevância para a execução do modelo desenvolvido.

A primeira tarefa é a elaboração de uma *Job Matrix*, que se trata de uma estrutura de dados empregada pela ferramenta para estabelecer um conjunto de *jobs*, como são chamadas as ações da ferramenta. Um exemplo *job*, no contexto do FloripaSat-2, seria um teste a ser executado. A *Job Matrix* é utilizada, então, para dividir o *workflow* de modo que cada arquivo de teste seja encapsulado em uma sub-tarefa distinta, que são executadas de maneira paralela. Optou-se por esse modelo como maneira de garantir execução e análise eficientes de e de maneira independente. A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam uma comparação entre as execuções do workflow no repositório do OBDH 2.0 atual, e uma versão sequencial implementada especialmente para este teste.

| **Modo de Execução** | **Min** | **Max** | **Média** |
|---|---|---|---|
| Sequencial | 38 | 69 | 50.27 |
| Paralela (Job Matrix) | 74 | 434[1] | 128 |

Tabela 1 – Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *drivers* do OBDH 2.0

.

| **Modo de Execução** | **Min** | **Max** | **Média** |
|---|---|---|---|
| Sequencial | 27 | 79 | 47.2 |
| Paralela (*Job Matrix*) | 57 | 105 | 72.8 |

Tabela 2 – Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *devices* do OBDH 2.0

.

O *workflow* que implementa a execução sequencial dos testes se mostrou comparativamente mais rápido à execução paralela. A razão da escolha do uso da *Job Matrix* foi a possibilidade de granularizar a execução, controlando de maneira individual se um teste deve ou não ser executado, além de ser possível analizar os resultados da execução de maneira individual. Como cada item da matriz é visualizada como um *workflow* separado nos logs do GitHub, se torna trivial encontrar o teste desejado e analizar o resultado de sua execução. Na forma sequencial, por exemplo, a execução se dá em um único *workflow*, e os testes e resultados devem ser buscados no log.

Nesse contexto, um *job* principal faz o levantamento de todos os arquivos de teste disponíveis para serem executados, e para cada arquivo é gerada uma entrada na *job matrix*, de modo que cada teste seja compilado e executado em um *job* isolado.

[1] O tempo de duração de 434 segundos foi possivelmente uma anomalia decorrente de alguma instabilidade na plataforma, visto que nenhuma das outras 10 execuções desse mesmo módulo apresentou valores próximos a este. Para fins de comparação, foi realizada uma nova medição desse mesmo workflow, e a média recalculada descartando o valor anômalo foi de 97.4 segundos. A lista completa das execuções pode ser encontrada nas tabelas 5 e 6 no apendice D

O trecho de código Código 5.4 representa a seção do *workflow* responsável por gerar o conteúdo da *Job Matrix*, que no caso é populada com informações sobre os testes a serem executados.

```
# Generates Matrix
# This job executes the 'deployJSON.py' script
# which compiles a list of all files ending in '_test.c'
# in a given directory and includes them in a .json file
# along with the path to the executable file.
generate-matrix:
  name:

  runs-on: ubuntu-latest

  outputs:
    matrix: ${{ steps.set-matrix.outputs.matrix }}

  steps:
    # Checks-out the repository under $GITHUB_WORKSPACE, so the
    ↪ job can navigate it
    - uses: actions/checkout@v2

    - name: Create JSON file
      run: python3 .github/workflows/deployJSON.py --source
    ↪ firmware/tests/devices/

    - name: Resulting JSON file for matrix generation
      run: echo "$(cat .github/workflows/test-list.json)"

    # Set the matrix output from the JSON (manipulated to remove
    ↪ spaces and replace \n -> %0A, " -> \")
    - id: set-matrix
      name: Set matrix output from the JSON file
      run: echo "::set-output name=matrix::$( echo "$(cat
    ↪ .github/workflows/test-list.json)" | sed
    ↪ ':a;N;$!ba;s/\n/%0A/g' )"
```

Código 5.4 – Geração da Job Matrix no workflow de autmação dos testes de *devices* do OBDH.

A execução desta etapa, que por sua vez invoca um script Python que lê o diretório onde o teste está implementado, cuja localização no repositório é informada no momento da execução. Assim, cada *workflow* informa o caminho dese-

jado. Por exemplo, no caso do OBDH 2.0, o workflow de *drivers* informaria o caminho `firmware/tests/drivers`, enquanto o workflow de *devices* deverá informar `firmware/tests/devices`. Essa configuração deve ser feita de forma manual na implementação dos *workflows* individuais, e segue o padrão estabelecido e descrito na Seção 4.4.

A execução deste script resultará em uma lista no formato *.json* com os seguintes componentes:

- *name*: o nome do arquivo de teste fonte.c, *sem a extensão*;
- *test_name*: o nome do executável após a compilação do arquivo fonte;
- *path*: o diretório onde se encontra o executável;

Um exemplo desta lista gerada pelo workflow de *devices* do OBDH 2.0 está disponível no trecho de código Código 5.5.

```
1     "include": [
2         {
3             "name": "antenna_test",
4             "test_name": "antenna_unit_test",
5             "path": "./firmware/tests/devices/antenna_unit_test"
6         },
7         {
8             "name": "current_sensor_test",
9             "test_name": "current_sensor_unit_test",
10            "path":
   ↪ "./firmware/tests/devices/current_sensor_unit_test"
11        },
12        {
13            "name": "eps_test",
14            "test_name": "eps_unit_test",
15            "path": "./firmware/tests/devices/eps_unit_test"
16        },
```

Código 5.5 – Lista de testes gerada pelo script de identificação de arquivos

O arquivo *.json* apresenta o resultado da execução do script, onde cada elemento de *include* é um dicionário contendo o nome do arquivo fonte, o nome e a localização do executavel.

Esse arquivo é lido nos próximos passos do workflow para gerar os *jobs* individuais com cada um desses dicionarios, dessa forma cada *job* lida apenas com um executavel.

### 5.4.3 Execução

Após as configurações realizadas na etapa de Pré-Execução, o *workflow* realiza a compilação e a execução dos arquivos listados anteriormente, localizados no arquivo *.json* gerado.

Para efeitos de ilustração, assumiremos um commit na branch *dev_firmware* do repositório do OBDH 2 como evento *e*, que aciona a execução de um *worklow*.

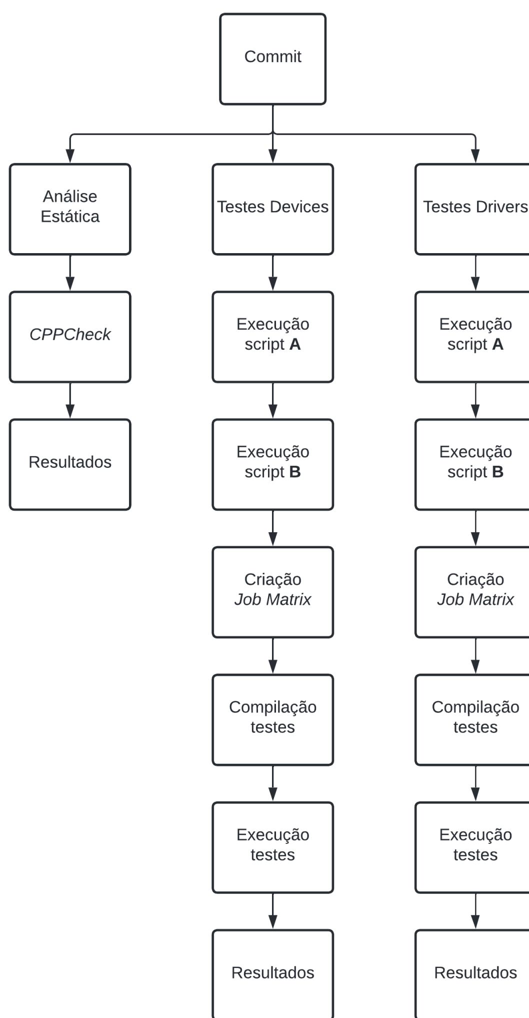
Após a etapa de Pré-Execução, todos os arquivos de teste dos *drivers* e *devices* do OBDH 2.0 estarão listados no arquivo *.json*, e a *Job Matrix* estará populada com os nomes e os caminhos de cada um deles. Cada entrada na matriz é, então, dividida em uma sub tarefa.

Como cada tarefa é encarada como um *workflow* distinto sob o ponto de vista de execução, todas elas precisam realizar algumas configurações iniciais como as descritas anteriormente, de download e instalação de bibliotecas. Após isso, o teste é compilado, e o binário gerado é executado. Ao final da execução, um registro com informações sobre o *workflow* é gerado (Figura 7).

Caso algum dos testes apresente falha, o *workflow* registrará um erro de execução, mas isso ocorrerá apenas após a finalização de todos os testes.

A Figura 8 ilustra um fluxo de execuções seguindo as etapas discutidas nas últimas seções.

Figura 8 – Fluxo de execução do modelo de automação.




Fonte: O autor

# 6 RESULTADOS

## 6.1 EXECUÇÕES

Como descrito anteriormente, os processos de automação são executados a cada atualização do repositório em *branches* específicas, como as de desenvolvimento e a *master*. Consequentemente, durante a evolução da missão, eles são executados múltiplas vezes. As próximas seções trazem algumas das informações relevantes que puderam ser observadas nos repositórios onde os testes automatizados estão consolidados e sendo executados constantemente.

Os dados apresentados na Seção 6.2 e Seção 6.3 foram coletados do momento em que os *workflows* foram implementados, até o dia 30/06/2022. As seções apresentam mais detalhes sobre os respectivos subsistemas.

## 6.2 OBDH 2.0

No repositório do OBDH 2, os *workflows* de automação foram disponibilizados em abril de 2022, e foram executados 450 vezes no repositório, das quais cerca de 10%, 44 resultaram em falhas, que em sua grande maioria representaram algum erro, falha ou defeito (como categorizado na Seção 2.2); no código implementado.

A Tabela 3 Indica apresenta a relação entre as execuções e as falhas dos *workflows* do OBDH 2, e a Figura 9 apresenta um gráfico no mesmo formato, apresentando as execuções mensais.

Tabela 3 – Execuções individuais de *workflows* no OBDH 2.0. Fonte: (OBDH 2.0, 2020)

| Workflow | Total | Falhas |
|---|---|---|
| Build LaTeX Documentation | 21 | 1 |
| Devices Unit Tests | 113 | 3 |
| Drivers Unit Tests | 112 | 16 |
| Static Analysis | 126 | 6 |
| Pages Build | 3 | 0 |
| *Não categorizados*[1] | 75 | 18 |
| **Total** | **450** | **44** |

## 6.3 EPS 2.0

No repositório do subsistema EPS, desde o momento da implementação dos *workflows* até o dia 30/06/2022, houveram 77 execuções, das quais 15 resultaram em falhas, apresentando cerca de 20% de taxa de falhas. A diferença nos números se dá

[1] Alguns meses após a implementação, os *workflows* do OBDH 2 foram categorizados segundo as suas funções, como a Tabela 3 representa. As execuções anteriores à essa divisão são apresentadas na plataforma como sem classificação.

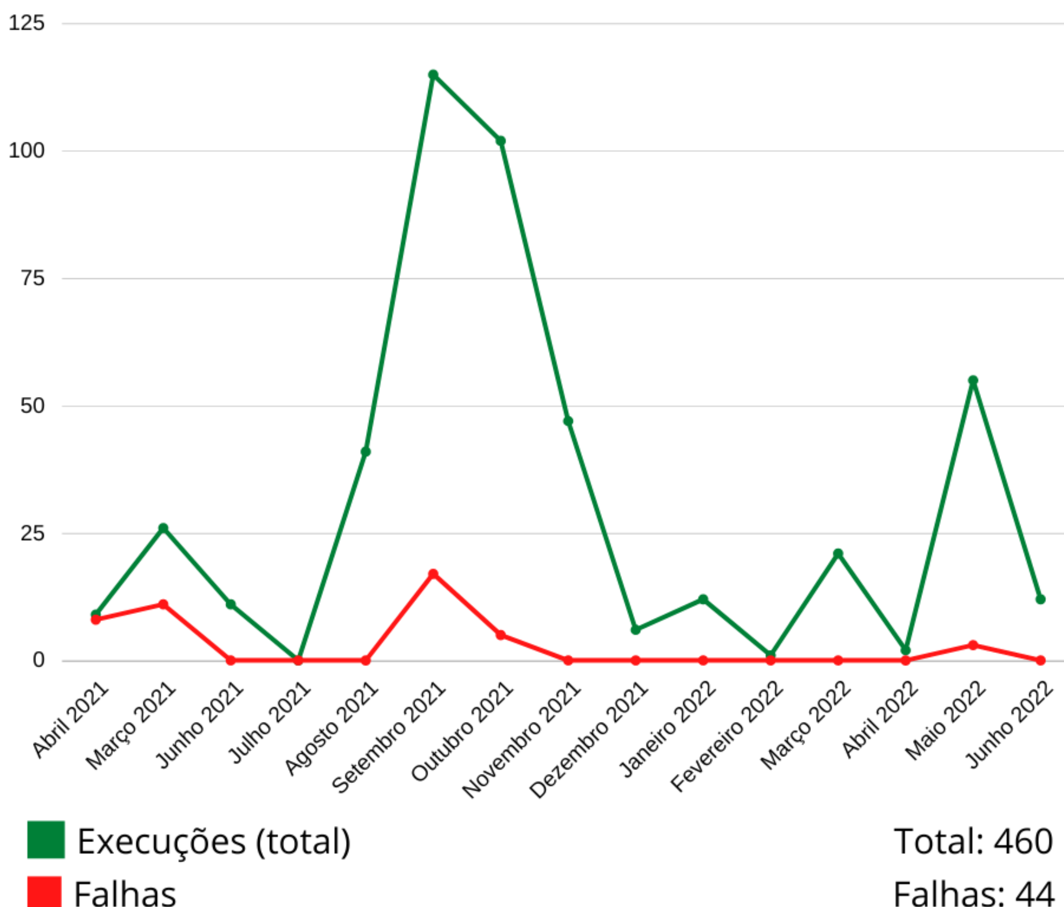



Figura 9 – Execuções dos *workflows* no repositório do OBDH 2.0

Fonte: (EPS 2.0, 2020)

por alguns fatores. O menor número de execuções, se dá pelo fato de o repositório do OBDH é mais frequentemente atualizado do que o EPS, e quantidade de testes que falham neste é maior possivelmente pelo fato de que está em um estágio de desenvolvimento mais inicial do que o OBDH.

Do mesmo modo, em sua grande maioria os testes que falharam apontaram problemas na implementação dos componentes do subsistema.

No EPS, o teste do device *TTC*, responsável por fazer a comunicação entre os dois módulos, apresentou um comportamento inesperado na execução do algoritmo *crc* para detecção de erros nas mensagens recebidas. A execução do teste contribuiu para a detecção do erro, que no momento da escrita desta monografia, está em processo de ser corrigido pelos desenvolvedores.

A Tabela 4 e a Figura 10 apresentam a relação entre execuções e falhas dos *workflows* do EPS, sendo a última uma representação mensal dos dados.

Tabela 4 – Execuções individuais de *workflows* no EPS 2.0. Fonte: (EPS 2.0, 2020)

| Workflow | Total | Falhas |
|---|---|---|
| Test Worklow | 77 | 15 |

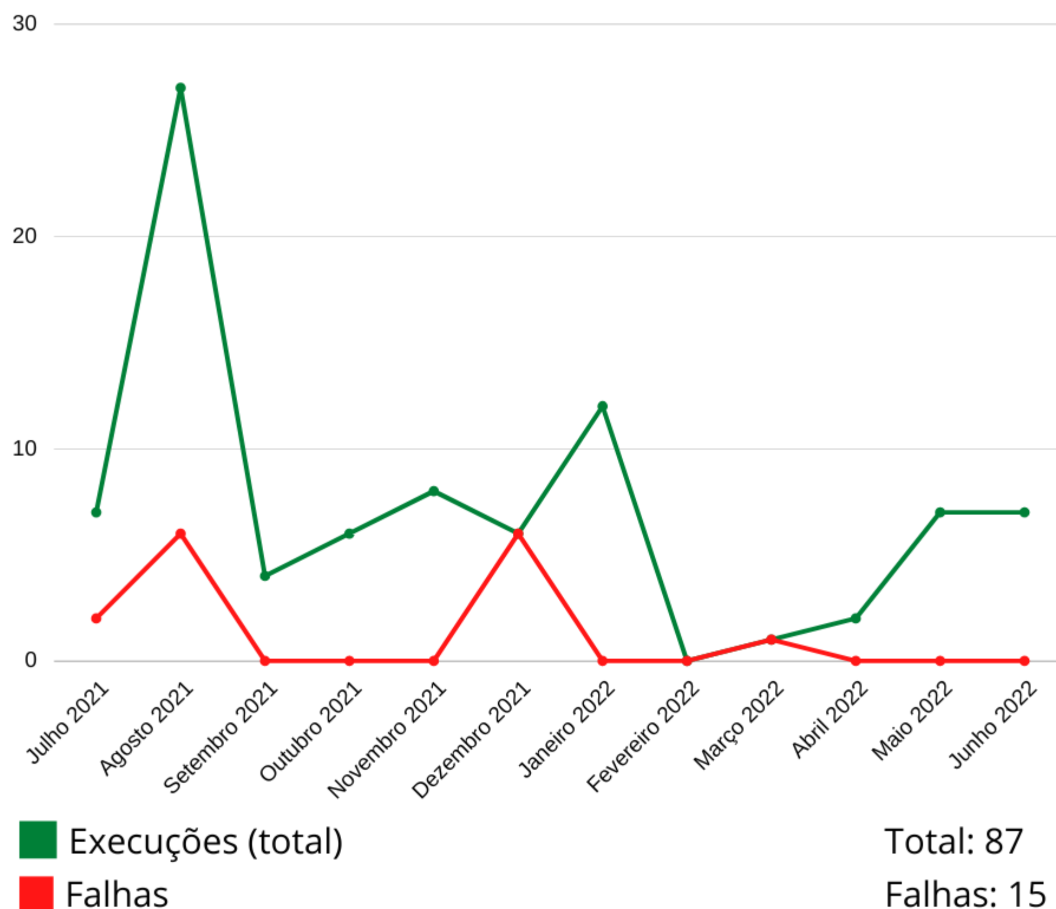



Figura 10 – Execuções dos *workflows* no repositório do EPS 2.0

Fonte: (EPS 2.0, 2020)

# 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos relacionados escolhidos e apresentados no Capítulo 3 apresentam um panorama inicial bastante informativo, quando analizados em conjunto:

- A relevância de missões CubeSat cresce a cada ano, observada pelo crescente volume de lançamentos;
- São projetos com alto potencial educativo, sendo usados por insituições de ensino para capacitar e treinar estudantes e também desenvolver, testar novas tecnologias e processos de desenvolvimento.
- Se tratam de sistemas críticos, cuja confiabilidade é fator essencial para o sucesso da missão

Os artigos elaborados pela equipe do FloripaSat-1 demonstram a enorme quantidade de conhecimento gerada, bem como a experiência adquirida em projeto e desenvolvimento de tecnologias espaciais. Os resultados preliminares obtidos após o lançamento do FloripaSat-1 também se mostraram essenciais, ao revelar pontos de atenção e dificuldades a serem melhor tratados na missão atual.

Percebeu-se também que, embora exista uma biblioteca ampla sobre testes de hardware de *CubeSats*, a quantidade de material distinto que foque apenas (ou principalmente) em teste de software espacial é comparativamente menor. O material encontrado, no entanto, revela os benefícios e melhorias que o modelo proposto por esse trabalho potencialmente proporciona. Espera-se que esse trabalho seja entendido como uma continuidade desse pensamento, no estudo realizado nos testes de unidade do FloripaSat-2.

O estudo destes trabalhos relacionados evidência também a importância de um projeto de testes estruturado. Mais de uma vez, nos artigos selecionados anteriormente foi descrito que a etapa de testes foi importante para a descoberta e correção de erros de design, sejam eles de harware ou software. É nessa vertente que este trabalho propôs e implementou uma nova aproximação para os testes unitários do FloripaSat-2, por meio de um sistema de workflows que permite a execução de testes de maneira automática.

É possível verificar a importância da execução destes *workflows*, que permitem a centralização e a transparência dos testes escritos, de uma forma que seja facilmente identificável quando um erro de implementação ocorra, e igualmente fácil a todos os desenvolvedores analisarem e terem a oportunidade de contribuir com a identificação e correção dos erros. O padrão de desenvolvimento na missão envolve a execução dos testes de maneira local, pelo desenvolvedor, antes do envio ao repositório. Esse processo, no entanto, não é totalmente a prova de falhas, como foi visualizado nos repositórios do OBDH2 e do EPS2, onde os testes automatizados possibilitaram a

descoberta e correção de erros e defeitos que não haviam sido encontrados durante a execução local.

Além disso, publicações e entregas de código podem ser agilizadas, sendo que uma vez que os testes já estejam escritos e implementados no repositório, os *commits* podem ser feitos de forma experimental, e o *workflow* apresentaria um relatório, apontando se e quais falhas foram implementadas. Dessa forma a responsabilidade de testar as alterações é retirada do desenvolvedor e centralizada no repositório. O artigo apresentado na Seção 3.2 relata que repositórios que contam com *workflows* de automação apresentam menor assiduidade de *merge requests*, ao mesmo tempo que aumentam a qualidade dos mesmos. A longo prazo, essa estatística será benéfica para a missão, que produzirá código de maior qualidade, ainda que a uma frequência reduzida.

Como identificado no Capítulo 6, nos últimos 12 meses os *workflows* de automatização foram executados, em conjunto, cerca de 500 vezes. Em sua maioria, os testes foram finalizados com sucesso, o que pode ser encarado como um grau aceitável de confiabilidade. Os *workflows* que falharam, que representam cerca de 10% do total, foram importantes para apresentar problemas nas implementações dos subsistemas, que foram ou estão sendo corrigidos durante o desenvolvimento da missão.

Esses dados destacam o caráter benéfico da utilização de *workflows* de testes automatizados na missão FloripaSat-2. Durante o projeto e implementação do modelo, e durante o tempo empregado para estudar seu uso, não foram identificados pontos negativos sobre seu uso, apesar de que algumas melhorias e atualizações são encorajadas, de modo a potencializar o impacto positivo na missão. Algumas dessas possibilidades são sugeridas na forma de trabalhos futuros, descritas na Seção 7.1

## 7.1 TRABALHOS FUTUROS

### 7.1.1 Testes de Integração

Apesar deste trabalho manter seu foco em testes de *software*, sugere-se explorar possibilidades de utilizar a ferramenta GitHub Actions para automatizar testes de integração, gravando e executando o código no *hardware* do satélite. Para esse efeito, deve ser estabelecida uma máquina física para hospedar os *workflows*, já que será necessária uma conexão física com o *hardware* para realizar compilação e a gravação do *firmware* nas placas. Este trabalho permitiria verificar a compatibilidade do *firmware* como *hardware*, investigando possiveis erros de compilação e interação entre os subsistemas, automatizando uma das etapas fundamentais do desenvolvimento e projeto de CPS.

### 7.1.2 FlatSat

Uma das etapas descritas no plano de desenvolvimento do FloripaSat-2 é o teste no modelo FlatSat, onde os subsistemas do satélite são conectado para simular a execução e interação final entre os módulo. Uma possível ideia de expansão do projeto é desenvolver um *workflow* para monitorar e analisar esses testes de maneira remota, sem que seja necessário dedicação constante à montagem, que estará sendo lidada pela ferramenta de automação.

### 7.1.3 Análise e Interpretação de Dados

A análise sistemática das execuções dos *workflows*, em especial os casos onde erros foram encontrados e subsequentemente corrigidos, possivelmente beneficiariam a missão se fornecerem a geração de relatórios de uso e execução, podendo permitir aos desenvolvedores analisar, por exemplo, quais testes executam e/ou falham com mais frequência, auxiliando no direcionamento de foco e definição de prioridades do projeto.

Outra questão que pode ser de interesse da missão em termos de análise seria, a partir de fontes como as apresentadas na Seção 3.2 e Seção 3.1, realizar um levantamento do impacto do uso de testes automatizados na confiabilidade da missão de forma geral, de modo a obter dados empíricos sobre a utilidade do modelo.

### 7.1.4 Containerização

O ambiente modelado é dependente do GitHub. Esse fato pode representar um risco, caso a plataforma de hospedagem for alterada, os scripts de automação deixarão de funcionar corretamente. Uma forma de contornar esse risco pode ser explorada com o uso de containers. Containers são similares à maquinas virtuais, com a vantagem de não consumirem tanto tempo e recursos como VMs convencionais, enquanto seguem os mesmos princípios de virtualização. Em especial, containers oferecem a capacidade de serem interconectados (PAHL, 2015). Sugere-se como trabalho futuro explorar a containerização dos *workflows* propostos por esse trabalho, principalmente a possibilidade de transferir a execução dos testes para containers, o que possibilitaria a transferência do modelo para outras plataformas.

**REFERÊNCIAS**

"MARCELINO, Gabriel Mariano; MORSCH, Filho Edemar; SARA, Vega-Martinez; PIO, De Mattos André Martins; ORIEL, Seman Laio; KESSLER, Slongo Leonardo; AUGUSTO, Bezerra Eduardo". "Qualification and validation test methodology of the open-source CubeSat FloripaSat-I". **"Journal of Systems Engineering and Electronics"**, v. 31, n. 6, p. 1230–1244, 2020. DOI: 10.23919/JSEE.2020.000103. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9316404.

ALANAZI, Abdulaziz; STRAUB, Jeremy. Engineering Methodology for Student-Driven CubeSats. **Aerospace**, v. 6, n. 5, 2019. ISSN 2226-4310. DOI: 10.3390/aerospace6050054. Disponível em: https://www.mdpi.com/2226-4310/6/5/54.

AYEWAH, Nathaniel; PUGH, William; HOVEMEYER, David; MORGENTHALER, J. David; PENIX, John. Using Static Analysis to Find Bugs. **IEEE Software**, v. 25, n. 5, p. 22–29, 2008. DOI: 10.1109/MS.2008.130.

BURT, Robert. **Distributed Electrical power systems in cubesat applications**. 2011. Diss. (Mestrado) – Utah State University.

CANADIAN SPACE AGENCY - CSA. **What is a CubeSat**. [*S.l.*: *s.n.*], 2018. asc-csa.gc.ca/eng/satellites/cubesat/what-is-a-cubesat.asp. Acessado em 30/08/2021.

CHEN, M.-H.; LYU, M.R.; WONG, W.E. Effect of code coverage on software reliability measurement. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 50, n. 2, p. 165–170, 2001. DOI: 10.1109/24.963124.

CMOCKA. [*S.l.*: *s.n.*]. https://api.cmocka.org/. Acessado em 14/06/2022.

CPPCHECK - A tool for static C/C++ code analysis. [*S.l.*: *s.n.*]. http://cppcheck.net/. Acessado em 29/06/2022.

EPS 2.0. **Electrical Power System 2.0**. [*S.l.*: *s.n.*], 2020. https://github.com/spacelab-ufsc/eps2. Acessado em 11/03/2022.

FEWSTER, Mark; GRAHAM, Dorothy. **Software test automation**. [*S.l.*]: Addison-Wesley Reading, 1999.

FREERTOS. [*S.l.*: *s.n.*]. https://freertos.org/index.html. Acessado em 21/06/2022.

GITHUB. **GitHub Actions**. [*S.l.*: *s.n.*]. github.com/features/actions. Acessado em 01/09/2021.

GNU Linker. [*S.l.*: *s.n.*], 1994. https://ftp.gnu.org/old-gnu/Manuals/ld-2.9.1/html_mono/ld.html. Acessado em 01/07/2022.

GNU SOFTWARE FOUNDATION. **The GNU General Public License**. [*S.l.*: *s.n.*], 2021. https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html. Acessado em 05/08/2021.

GONZALEZ, Carlos E.; ROJAS, Camilo J.; BERGEL, Alexandre; DIAZ, Marcos A. An Architecture-Tracking Approach to Evaluate a Modular and Extensible Flight Software for CubeSat Nanosatellites. **IEEE Access**, v. 7, p. 126409–126429, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2927931.

ISTSAT-1. [*S.l.*: *s.n.*], 2021. https://istsat-one.tecnico.ulisboa.pt/~istsat-one.daemon/. Acessado em 28/02/2022.

JOHNSTONE, Alicia. **CubeSat Design Specification (1U – 12U) REV 13 CP-CDS-R13**. San Luis Obispo, CA, EUA, 2020.

JPL. **Mars Cube One (MarCO)**. [*S.l.*: *s.n.*], 2018. https://www.jpl.nasa.gov/missions/mars-cube-one-marco. Acessado em 21/02/2022.

KINSMAN, Timothy; WESSEL, Mairieli; GEROSA, Marco A.; TREUDE, Christoph. How Do Software Developers Use GitHub Actions to Automate Their Workflows? *In*: 2021 IEEE/ACM 18th International Conference on Mining Software Repositories (MSR). [*S.l.*: *s.n.*], 2021. P. 420–431. DOI: 10.1109/MSR52588.2021.00054.

KULU, ERIK. **Nanosats Database**. [*S.l.*: *s.n.*], 2021. https://www.nanosats.eu/. Acessado em 08/09/2021.

MALAIYA, Y.K.; LI, M.N.; BIEMAN, J.M.; KARCICH, R. Software reliability growth with test coverage. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 51, n. 4, p. 420–426, 2002. DOI: 10.1109/TR.2002.804489.

MARCELINO, Gabriel Mariano; MORSCH FILHO, Edemar; MARTINEZ, Sara Vega; SEMAN, Laio Oriel; BEZERRA, Eduardo Augusto. In-orbit preliminary results from the open-source educational nanosatellite FloripaSat-I. **Acta Astronautica**, v. 188, p. 64–80, 2021. ISSN 0094-5765. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.07.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576521003489.

MARCELINO, Gabriel Mariano; VEGA-MARTINEZ, Sara; SEMAN, Laio Oriel; KESSLER SLONGO, Leonardo; BEZERRA, Eduardo Augusto. "A Critical Embedded System Challenge: The FloripaSat-1 Mission". **"IEEE Latin America Transactions"**, v. 18, n. 02, p. 249–256, 2020. DOI: 10.1109/TLA.2020.9085277. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9085277.

MONTEIRO, João P.; ROCHA, Rui M.; SILVA, Alexandre; AFONSO, Rúben; RAMOS, Nuno. Integration and Verification Approach of ISTSat-1 CubeSat. **Aerospace**, v. 6, n. 12, 2019. ISSN 2226-4310. DOI: 10.3390/aerospace6120131. Disponível em: https://www.mdpi.com/2226-4310/6/12/131.

OBDH 2.0. **On-Board Data Handling 2.0**. [*S.l.*: *s.n.*], 2020. https://github.com/spacelab-ufsc/obdh2. Acessado em 11/03/2022.

PAHL, Claus. Containerization and the PaaS Cloud. **IEEE Cloud Computing**, v. 2, n. 3, p. 24–31, 2015. DOI: 10.1109/MCC.2015.51.

PANGA, WJ; BO, B; MENG, X; YU, XZ; GUO, J; ZHOU, J. Boom of the CubeSat: A Statistic Survey of CubeSats Launch in 2003–2015. *In*: PROCEEDINGS of the 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico. [*S.l.*: *s.n.*], 2016. P. 26–30.

SPACELAB - UFSC. **FloripaSat-2 Doc**. [*S.l.*: *s.n.*], 2021. https://spacelab-ufsc.github.io/floripasat2-doc/slb-fsat2-doc-v0.2.pdf. Acessado em 30/08/2021.

TSCHERBAKOVA, N. N.; BELETSKII, V. V.; SOZONOV, V. V. Stabilization of Heliosynchronous Orbits of an Earth's Artificial Satellite by Solar Pressure. **Cosmic Research**, v. 17, n. 4, p. 393–401, 1998. DOI: 10.1109/MS.2008.130.

TTC 2.0. **Tracking, Telemetry & Command 2.0**. [*S.l.*: *s.n.*], 2020. https://github.com/spacelab-ufsc/ttc2. Acessado em 11/03/2022.

WAZLAWICK, Raul Sidnei. **Engenharia de Software: Conceitos e Práticas**. 2. ed. [*S.l.*]: Elsevier, 2019. ISBN 978-8535260847.

WICHMANN, B.; CANNING, A.A.; CLUTTERBUCK, D.L.; WINSBORROW, L.A.; WARD, N.J.; MARSH, William. Industrial perspective on static analysis. **Software Engineering Journal**, v. 10, p. 69–75, abr. 1995. DOI: 10.1049/sej.1995.0010.

# Apêndices

# APÊNDICE A – *WORKFLOW* DE TESTES DE UNIDADE PARA O MÓDULO OBDH 2.0

Este capítulo apresenta os códigos necessários para a execução do *workflow* de automação de testes de unidade do módulo OBDH 2.0 (OBDH 2.0, 2020) do FloripSat-2

## A.1 UNIT-TESTS-DEVICES.YML

```
#
# unit-tests-devices.yml
#
# Copyright (C) 2021, SpaceLab.
#
# This file is part of OBDH 2.0.
#
# OBDH 2.0 is free software: you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# OBDH 2.0 is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with OBDH 2.0. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
#
#


name: Devices Unit Tests

on:
  push:
    branches: [ dev_firmware ]
  pull_request:
    branches: [ master, dev, dev_firmware]

  # 'workflow_dispatch' allows manual execution
  # of this workflow under the repository's 'Actions' tab
  workflow_dispatch:

jobs:

  # Generates Matrix
```

```
39    # This job executes the 'deployJSON.py' script
40    # which compiles a list of all files ending in '_test.c'
41    # in a given directory and includes them in a .json file
42    # along with the path to the executable file.
43    generate-matrix:
44      name:
45
46      runs-on: ubuntu-latest
47
48      outputs:
49        matrix: ${{ steps.set-matrix.outputs.matrix }}
50
51      steps:
52        # Checks-out the repository under $GITHUB_WORKSPACE, so the job can navigate it
53        - uses: actions/checkout@v2
54
55        - name: Create JSON file
56          run: python3 .github/workflows/deployJSON.py --source firmware/tests/devices/
57
58        - name: Resulting JSON file for matrix generation
59          run: echo "$(cat .github/workflows/test-list.json)"
60
61        # Set the matrix output from the JSON (manipulated to remove spaces and replace
          ↪  \n -> %0A, " -> \")
62        - id: set-matrix
63          name: Set matrix output from the JSON file
64          run: echo "::set-output name=matrix::$( echo "$(cat
            ↪  .github/workflows/test-list.json)" | sed ':a;N;$!ba;s/\n/%0A/g' )"
65
66    # This job reads the matrix containing the paths
67    # created by the previous job and runs each program
68    # individually, i.e. spawning one job for every
69    # test file included in the matrix.
70    run-tests:
71      name: run-tests
72      needs: generate-matrix
73      runs-on: ubuntu-latest
74
75      strategy:
76        fail-fast: false
77
78        matrix: ${{fromJson(needs.generate-matrix.outputs.matrix)}}
79
80
81      env:
82        MAKE_TARGET: ${{ matrix.name }}
83        TEST_FILE: ${{ matrix.test_name }}
84        TEST_PATH: ${{ matrix.path }}
85
```

```
86      steps:
87        - uses: actions/checkout@v2
88        # Install required libs
89        - name: Install CMocka
90          run: sudo apt-get install libcmocka0 libcmocka-dev
91
92        - name: Signal make target
93          run: echo "Generating make file for $MAKE_TARGET"
94
95        - name: Generate Test File
96          run: cd firmware/tests/devices && make $MAKE_TARGET
97
98        - name: Signal running test
99          run: echo "Running $TEST_FILE"
100
101       - name: Run test
102         run: $TEST_PATH
```

# APÊNDICE B – DEPLOY JSON

## B.1 DEPLOYJSON.PY

```
1     #
2  # deployJSON.py
3  #
4  # Copyright (C) 2021, SpaceLab.
5  #
6  # This file is part of OBDH 2.0.
7  #
8  # OBDH 2.0 is free software: you can redistribute it and/or modify
9  # it under the terms of the GNU General Public License as published by
10 # the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
11 # (at your option) any later version.
12 #
13 # OBDH 2.0 is distributed in the hope that it will be useful,
14 # but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
15 # MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
16 # GNU General Public License for more details.
17 #
18 # You should have received a copy of the GNU General Public License
19 # along with OBDH 2.0. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
20 #
21 #
22
23 import sys
24 import os
25 import json
26
27 if len(sys.argv) <= 2:
28     print("\nWrong arguments")
29     print("Use: python3 test-deployer --source <target directory>\n")
30
31     sys.exit(1)
32 else:
33     if sys.argv[1] == '--source':
34         # Directory path and list
35         path = sys.argv[2]
36         if path.startswith('/'):
37             path = '.' + path
38         elif not path.startswith('./'):
39             path = './' + path
40         file_dir = os.listdir(path)
41
42     files = {
43         "include": []
44     }
```

```
45
46      # Naming convention:
47      #   - test files should end with '_test.c';
48      #   - and executables should be named '<target>_unit_test
49      #   - makefile commands should be 'make <target>' for each test file
50      #
51      # This script should work for all folders that follow these guidelines
52      # otherwise this script will have to be edited to function properly
53
54      for file in file_dir:
55          if file.endswith('_test.c'):
56              file_name = file.replace('.c', '')
57              test_file = file_name.replace('_test', '_unit_test')
58              file_path = path + test_file
59
60              file_info = {
61                  "name": file_name,
62                  "test_name": test_file,
63                  "path": file_path
64              }
65              files['include'].append(file_info)
66
67      # Convert the dictionary to JSON format
68      json_target = json.dumps(files)
69
70      with open(".github/workflows/test-list.json", "w") as json_file:
71          json_file.write(json_target)
72      json_file.close()
73
74      print("JSON created successfully for folder " + sys.argv[2])
```

# APÊNDICE C – ADS1248_WRAP.C

```
1  /*
2   * ads1248_wrap.c
3   *
4   * Copyright (C) 2021, SpaceLab.
5   *
6   * This file is part of EPS 2.0.
7   *
8   * EPS 2.0 is free software: you can redistribute it and/or modify
9   * it under the terms of the GNU General Public License as published by
10  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
11  * (at your option) any later version.
12  *
13  * EPS 2.0 is distributed in the hope that it will be useful,
14  * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
15  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
16  * GNU General Public License for more details.
17  *
18  * You should have received a copy of the GNU General Public License
19  * along with EPS 2.0. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
20  *
21  */
22
23 /**
24  * \brief ADS1248 driver wrap implementation.
25  *
26  * \author Lucas Zacchi de Medeiros <lucas.zacchi@spacelab.ufsc.br>
27  *
28  * \version 0.1.0
29  *
30  * \date 2021/09/06
31  *
32  * \defgroup ads1248_wrap ADS1248 Wrap
33  * \ingroup tests
34  * \{
35  */
36
37
38 #include <stdarg.h>
39 #include <stddef.h>
40 #include <stdint.h>
41 #include <setjmp.h>
42 #include <float.h>
43 #include <cmocka.h>
44
45
46 #include "ads1248_wrap.h"
```

```
47  int __wrap_ads1248_init(ads1248_config_t *config)
48  {
49      return mock_type(int);
50  }
51
52  int __wrap_ads1248_reset(ads1248_config_t *config, ads1248_reset_mode_t mode)
53  {
54      check_expected_ptr(mode);
55
56      return mock_type(int);
57  }
58
59  int __wrap_ads1248_config_regs(ads1248_config_t *config)
60  {
61      return mock_type(int);
62  }
63
64  int __wrap_ads1248_read_regs(ads1248_config_t *config, uint8_t *rd)
65  {
66      check_expected(rd);
67      return mock_type(int);
68  }
69
70  int __wrap_ads1248_read_data(ads1248_config_t *config, uint8_t *rd, uint8_t
    ↪ positive_channel)
71  {
72      check_expected(rd);
73      check_expected(positive_channel);
74
75      return mock_type(int);
76  }
77
78  int __wrap_ads1248_write_cmd(ads1248_config_t *config, ads1248_cmd_t cmd, uint8_t *rd,
    ↪ uint8_t positive_channel)
79  {
80      check_expected(cmd);
81      check_expected(positive_channel);
82
83      if (config != NULL)
84      {
85          if (cmd == ADS1248_CMD_RDATA)
86          {
87              config = 0;
88          }
89      }
90      return mock_type(int);
91  }
92
```

```
93  int __wrap_ads1248_set_powerdown_mode(ads1248_config_t *config, ads1248_power_down_t
    ↪  mode)
94  {
95      if (config != NULL)
96      {
97          config->spi_port = mock_type(gpio_pin_t);
98          config->start_pin = mock_type(gpio_pin_t);
99      }
100     check_expected(mode);
101     return mock_type(int);
102 }
103
104 /** \} End of ads1248_wrap group */
```

## APÊNDICE D – EXECUÇÕES DOS DRIVERS WORKFLOWS DO OBDH2

Nas tabelas 5 e 6 estão listadas as execuções utilizadas como parâmetro para os dados apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

| **Execuções** | **Sequencial** | **Paralela** (*Job Matrix*) |
|---|---|---|
| 1 | 44 | 92 |
| 2 | 42 | 86 |
| 3 | 38 | 83 |
| 4 | 42 | 95 |
| 5 | 69 | 128 |
| 6 | 43 | 103 |
| 7 | 57 | 115 |
| 8 | 60 | 434 |
| 9 | 56 | 138 |
| 10 | 50 | 74 |
| 11 | 52 | 60 |

Tabela 5 – Execuções do workflow drivers

| **Execuções** | **Sequencial** | **Paralela** (*Job Matrix*) |
|---|---|---|
| 1 | 53 | 87 |
| 2 | 66 | 57 |
| 3 | 59 | 66 |
| 4 | 41 | 71 |
| 5 | 79 | 65 |
| 6 | 73 | 96 |
| 7 | 53 | 105 |
| 8 | 38 | 93 |
| 9 | 42 | 89 |
| 10 | 27 | 59 |

Tabela 6 – Execuções do workflow

# APÊNDICE E – ARTIGO SBC

# Análise e implementação de fluxo de automação de testes dos sistemas embarcados de pequenos Satélites Artificiais

**Lucas Zacchi de Medeiros**[1], **Prof. Dr. Eduardo Augusto Bezerra**[2], **Prof. Dr. Rafael de Santiago**[1]

[1] Departamento de Informática e Estatística (INE)

[2]Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica (EEL)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis – SC – Brasil

***Abstract.*** *Artificial Satellites are projects that demand highly reliable modules. Despite some missions allowing post-deployment updates to firmware and software, cases where it is possible to perform hardware maintenance are rare. Because of this fact, the Assembly, Integration and Verification (AIV) process is crucial to guarantee that the project doesn't face more risks than those which are inerent of a space mission. These factores are intensified when dealing with CubeSats, that statistically have lower budgets and scope when compared to large scale governmental and/or commercial space missions. This article proposes the implementation of a test automation workflow system hosted at GitHub that will make use of the GitHub Actions tool to allow automated execution of tests during the AIV step of the FloripaSat-2 mission, and lastly, will allow collection and analysis of data in order to draw relevant conclusions regarding the execution.*

***Resumo.*** *Satélites artificiais são projetos que demandam níveis elevados de confiabilidade de seus módulos. Apesar de alguns projetos permitirem atualizações posteriores a firmware e programas, são raros os casos onde é possível revisar e corrigir hardware. Por esse motivo a etapa de testes e AIV (Assembly, Integration, and Verification) é crucial para a garantia de que o projeto não corra mais riscos do que os que são inerentes à área. Esses fatores são amplificados quando tratamos de CubeSats, que possuem escopo e orçamentos menores quando comparados a grandes projetos governamentais e/ou comerciais. Este trabalho propõe a implementação de um sistema de workflows hospedados na plataforma de controle de versionamento GitHub que, aliados à funcionalidade GitHub Actions, permitirá a execução automatizada de testes no contexto dos planos de* Assembly, Integration, and Verification*(AIV) da missão FloripaSat-2 e, posteriormente, análise e interpretação dos dados coletados de modo a obter resultados qualitativos e quantitativos da execução.*

## 1. Introdução

CubeSats são uma classe de artefatos espaciais elaborada com o intuito de reduzir custos e tempo de desenvolvimento, além de providenciar maior acessibilidade ao espaço [Johnstone 2020]. Inicialmente projetados para utilização educacional em universidades [Burt 2011], são amplamente usados para exploração espacial em órbita terrestre baixa, com altitudes entre 160 km e 2000 km [Alanazi and Straub 2019].

CubeSats possuem uma unidade básica (U) de dimensão 10 cm x 10 cm x 10 cm, mas podem ser configurados em até 12 Unidades (ou 12U)

[Canadian Space Agency - CSA 2018]. O FloripaSat-2 [SpaceLab - UFSC 2021], projeto do Laboratório de Pesquisa em Tecnologias Espaciais da UFSC no qual este trabalho se baseia, é um CubeSat 2U que se encontra no presente momento, em estágio de desenvolvimento ativo.

O processo de verificação de design é uma etapa crucial em projetos de engenharia. Em tradução livre dos autores, Monteiro et al, dizem que:

> *Em projetos espaciais, a amplitude e cuidado minucioso dos processos de teste são ainda mais importantes, em vista do nível de confiabilidade a ser imposto no produto final, que é comumente um artefato espacial que precisa resistir à uma gama de ameaças e funcionar em um ambientes inóspitos. [Monteiro et al. 2019]*

Ainda segundo os autores, o processo de *AIV* (sigla em inglês para Montagem, Integração, e Verificação) tende a ser mais leve em CubeSats, devido à menor escala dos projetos.

No entanto, o risco de um projeto de nanossatélite não é desprezível. Em um estudo realizado sobre os lançamentos de CubeSats entre 2003 e 2015, os autores [Panga et al. 2016] constataram que cerca de 15% das missões CubeSat nesse período não conseguiram manter comunicações com as estações de controle, resultando em falha da missão após o lançamento.

Por esses motivos, percebe-se então a relevância de um plano de testes bem estruturado para o ciclo de desenvolvimento do FloripaSat-2. Através da elaboração e execução de testes, pretende-se elevar a confiabilidade[Chen et al. 2001] do sistema, a fim de diminuir a probabilidade de que problemas no satélite resultem em falha da missão

Este artigo propõe, então, dois pontos principais:

- A implementação de um sistema de workflows hospedados na plataforma GitHub Actions [GitHub ] nos repositórios oficiais da missão, que possibilite a execução automática de testes unitários nos sistemas do FloripaSat-2;
- A análise descritiva dos testes unitários implementados durante o desenvolvimento dos subsistemas do satélite.

## 2. FloripaSat-2

O FloripaSat-2 é um CubeSat de configuração 2U, plataforma da missão Golds-UFSC desenvolvida pelo SpaceLab [SpaceLab - UFSC 2021]. Os objetivos principais da missão consistem em testar e validar tecnologias espaciais, realizar experimentos científicos em órbita e capacitar estudantes de graduação e pós-graduação da UFSC. A plataforma é constituída por três módulos principais, que gerenciam o satélite e permitem o uso de cargas úteis: o OBDH 2.0, TT&C 2.0, e EPS 2.0.

### 2.1. EPS 2.0

O EPS 2 (*electrical power system* – Figura 1) é responsável por coletar, armazenar e distribuir energia para o FloripaSat-2. A coleta de energia é feita através de 10 painéis solares posicionados ao longo da estrutura do satélite, e é armazenada em 4 baterias de íons de lítio. A distribuição de energia é feita através de conversores DC-AC. Tal qual o módulo desenvolvido para o FloripaSat-1[Marcelino et al. 2020] o EPS 2.0 possui um

chip DS2775G+ utilizado para controlar carga e descarga da bateria, além de monitorar alguns parâmetros como corrente e tensão. O EPS, com base nessas informações, executa suas rotinas de distribuição de energia, decidindo quais módulos e quais funcionalidades devem permanecer em operação. O EPS 2 também é capaz de controlar a temperatura das baterias, e conta com sensores de temperatura e aquecedores.

O projeto e implementação do EPS 2.0 está disponível em seu repositório [EPS 2.0 2020].

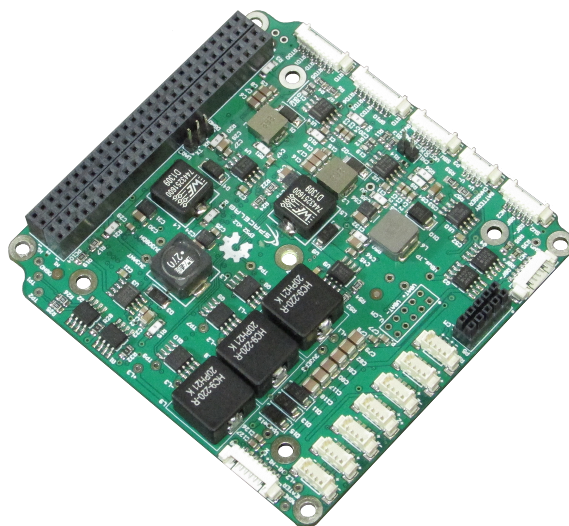


**Figura 1. Hardware do *EPS 2.0*. Fonte: SpaceLab [SpaceLab - UFSC 2021]**

## 2.2. TTC 2.0

O módulo TTC 2 (Ou TT&C, *Telemetry, tracking & Telecommand* – Figura 2) é o módulo de comunicação do FloripaSat-2. É função dele realizar a comunicação entre o satélite e a *groundstation*. A comunicação com a estação terrestre será feita de duas maneiras, um sinal de *beacon* e um de telemetria.

O *beacon* transmite um sinal periódico contendo alguns dados básicos de identificação do satélite em conjunto com informações básicas de telemetria. O módulo de telemetria é o responsável pela comunicação de fato. Tém um módulo de comunicação bidimensional para receber telecomandos da Terra e transmitir os dados requisitados. O submódulo de telemetria é controlado por devices externos (como por exemplo o OBDH).

O projeto e a implementação do TTC 2.0 está disponível em seu repositório [TTC 2.0 2020].

## 2.3. OBDH 2.0

O OBDH 2.0 (*On-Board Data Handling* – Figura 3) é responsável pela sincronização das ações e o fluxo de dados entre os outros módulos do FloripaSat-2 e a groundstation. O OBDH organiza os dados em *data frames* e transimte através do TTC, ou armazena em memória não-volátil para transimssão em outro momento. Dados recebidos da groundstation são captados pelo TTC e direcionados para o OBDH, que realiza a ação apropriada ou transmite para o módulo apropriado.

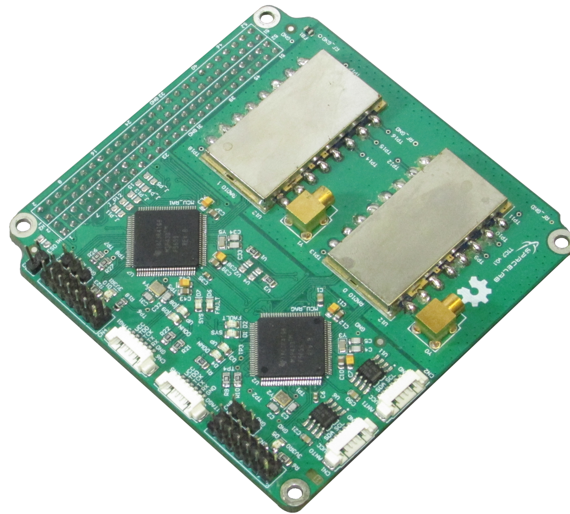


**Figura 2. Hardware do *TTC 2.0*. Fonte: SpaceLab [SpaceLab - UFSC 2021]**

O OBDH também é responsável por sincronizar e fazer a interface entre os demais subsistemas do satélite, e para isso, de maneira similar ao módulo desenvolvido para o FloripaSat-1, o OBDH 2 utiliza como sistema operacional o [fre ]. O sistema operacional de tempo real, nesse caso, é utilizado para garantir a execução das tarefas dentro dos limites de tempo estabelecidos [Marcelino et al. 2020].

O projeto e a implementação do OBDH 2.0 está disponível em seu repositório [OBDH 2.0 2020].

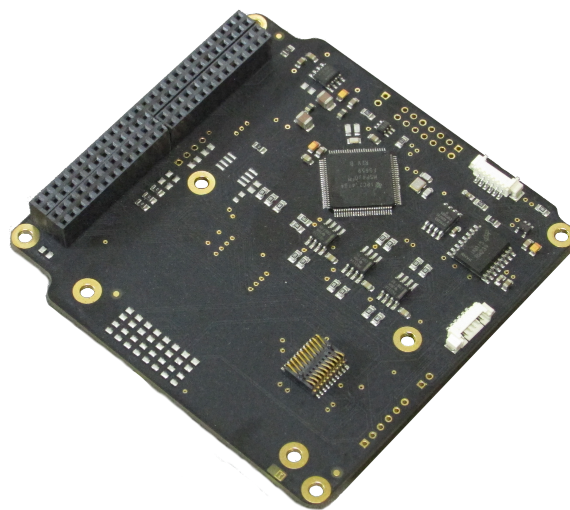


**Figura 3. Hardware do *OBDH 2.0*. Fonte: SpaceLab [SpaceLab - UFSC 2021]**

## 3. Testes de unidade da plataforma FloripaSat-2

Para a implementação dos testes de unidade nos módulos do FloripaSat-2, foi utilizada a ferramenta [cmo ], que implementa um framework de testes cuja única dependência é a biblioteca padrão C. Além disso, os testes escritos através da biblioteca são compilados em executáveis *stand-alone* e, o mais importante para o projeto, suportam o uso de *Mock Objects*, programas que simulam de maneira controlada o funcionamento de um sistema

real. No caso do FloripaSat-2, os *mockups* foram utilizados com o intuito de simular interações, dependências e chamadas *I/O* de programas externos ao alvo do teste.

Testes de unidade tem melhores precisão e eficiência quando empregados de maneira isolada e contida, para testar componentes e funcionalidades singulares. O componente sob teste deve ser analisado de maneira pura sem dependências e comunicações externas, pois isso acarretaria em introduzir código não testado para avaliar o funcionamento correto do componente desejado. Essa introdução pode trazer consigo *bugs* e defeitos inesperados, para os quais o teste não está preparado para receber, impedindo o propósito do teste.

De maneira simples, para testar um determinado componente *a*, que depende dos componentes *b* e *c*, a melhor maneira de fazê-lo seria encontrar uma maneira de fazer com que *a* possa contornar *b* e *c*, sem precisar que eles sejam invocados durante sua execução. Essa funcionalidade, a qual o prof. Raul Wazlawick nomeia *stub* em seu livro [Wazlawick 2019], é oferecida pela biblioteca Cmocka através dos *Mock Objects*.

### 3.1. Um *Mock Object* na biblioteca CMocka

Como discutido anteriormente, a maior utilidade dos objetos *mock* para o FloripaSat-2 é possibilitar a simulação de funções e componentes externos ao alvo do teste. Os *Mock Objects* entram no projeto como forma de isolar o teste, de forma que qualquer erro ou defeito de implementação encontrado esteja localizado no próprio componente a ser testado.

Dando continuidade ao exemplo iniciado anteriormente, ao escrever o teste para o componente *a*, podemos criar um objeto *mock* para os componentes *b* e *c*, de modo que sempre que *a* realizar alguma chamada à *b* ou *c*, teremos controle sobre o envio e o retorno das chamadas, garantindo que somente o código de *a* estará sendo executado, sem que bugs externos atrapalhem seu processo de teste.

Segue então que, para testar de maneira isolada o componente *a* devemos implementar funções *mock __wrap_b* e *__wrap_c*. O teste de *a* seria compilado, então, através do comando

```
gcc a_test --wrap=b,--wrap=c
```

Dessa forma, *a* será compilado normalmente, mas chamadas à *b* e *c* serão resolvidas como chamadas aos seus respectivos *wrappers*.

Dentro de um arquivo de teste uma função que testa um componente que fará uma chamada à um *wrapper* deve preparar anteriormente à execução do componente, o que a função *wrapper* receberá e/ou retornará. No teste isso é feito através das funções `expect_`. Consequentemente, a função *wrapper* deve verificar a existência e a corretude do parâmetro enviado, através da função `check_expected`. Essas duas funções permitem ao desenvolvedor e consequentemente ao próprio teste, saber de antemão qual o conteúdo das mensagens a ser trocadas, e qual o conteúdo das mesmas, podendo facilmente identificar se houve algum problema no percurso.

Caso a função *wrapper* deva retornar algum valor, isso pode ser feito dentro do teste através da função *will_return*, que especifica exatamente o que o *wrapper* retornará,

e o que vai ser recebido pelo componente testado. O trecho de código a seguir dá continuidade ao exemplo anterior, exemplificando em código C (relativamente) válido:

```
static void a_test (void **state) {
        expect_value(__wrap_b, valor_b, 0);
        will_return(__wrap_b, 1);

        expect_value(__wrap_c, valor_c, 1);
        will_return(__wrap_c, 0);

        assert_return_code(a(0, 1), 0);
    }

    int __wrap_b(int valor_b) {
        check_expected(valor_b)
        return mock_type(int);
    }

    int __wrap_c(int valor_c) {
        check_expected(valor_c);
        return mock_type(int);
    }

    int a(int valor_b, int valor_c) {
        int return_b = b(valor_b);
        int return_c = b(valor_c);

        return 0;
    }
```

## 4. Fluxo de automação de testes

O objetivo de automatizar a execução dos testes é potencializar os ganhos de confiabilidade nos sistemas desenvolvidos, além de garantir a corretude do código produzido através de uma cobertura de testes elevada. Esses objetivos foram almejados utilizando a ferramenta GitHub Actions, aproveitando-se do fato de que o desenvolvimento da missão já estava anteriormente hospedada no GitHub.

### 4.1. GitHub Actions

Disponibilizada em 2019, GitHub Actions é uma API *event-driven* para automatizar *workflows* de desenvolvimento, que podem ser configurados para executar diversas atividades, a partir de diferentes tipos de eventos.

Um evento, como definido pelos autores Kinsman *et. al.*(2021), ”É uma atividade específica que dispara a execução de um *workflow* (...) Por exemplo, um *workflow* é disparado quando um *pull-request* é criado, ou quando ocorre um *merge* na *branch* principal do repositório”.

Os *workflows* executados pela ferramenta são escritos em linguagem *YAML*, e são implementados no diretório `.github/workflows`, na raiz do repositório.

Um repositório pode ter um ou mais *workflows*. De fato, os repositórios do FloripaSat-2, especialmente o módulog OBDH 2 [OBDH 2.0 2020], contem três *workflows* distintos: um para execução dos testes de unidade dos *drivers*, o segundo com a mesma finalidade, para os testes de *devices*, e um terceiro para a execução da análise estática do código. Após a execução dos *workflows*, os resultados são apresentados em uma tela com *logs*. Existem outras formas de tratar as mensagens de execução, mas a missão optou por visualizar as mensagens desta maneira, que não envolve outras configurações. A figura 4 demonstra um exemplo de mensagem de *log* após a execução com sucesso de um *workflow* de testes.

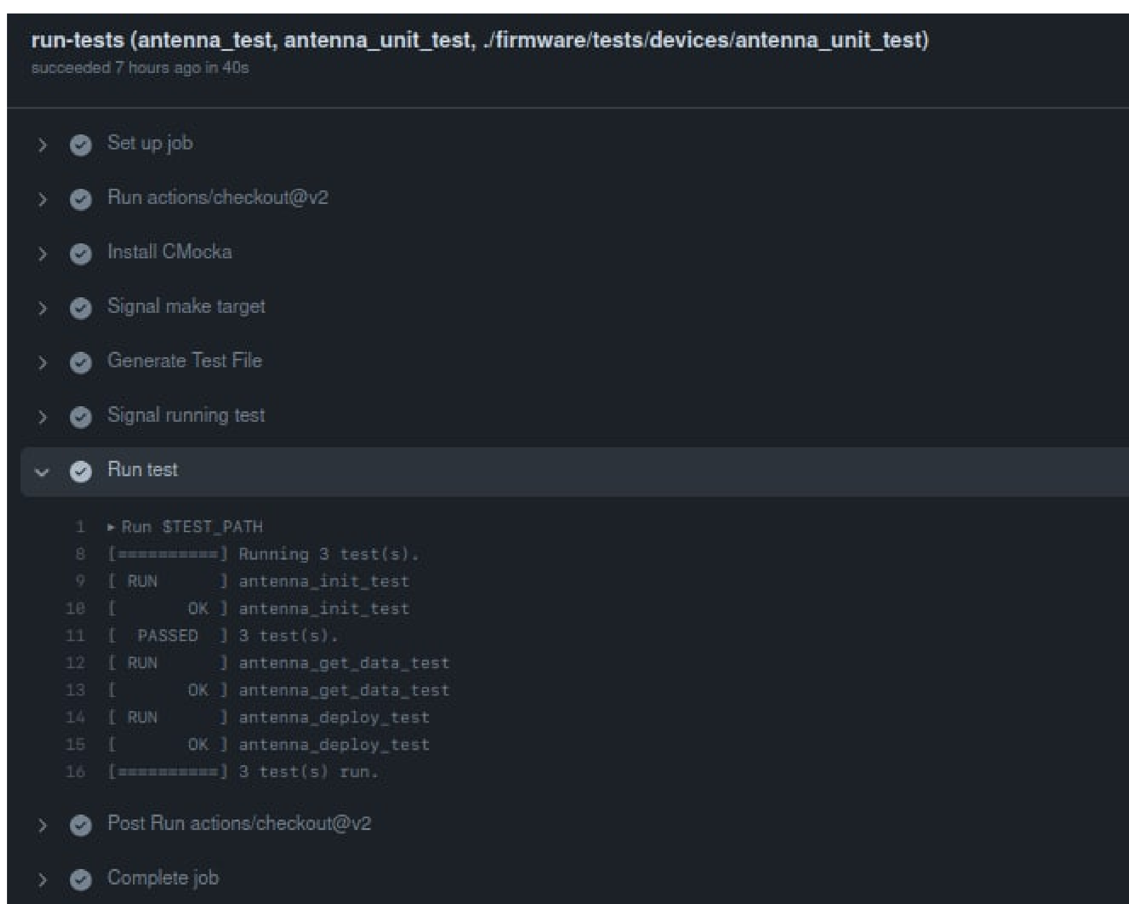



**Figura 4. Tela de resultados após a execução de um *workflow*. Fonte: OBDH 2 [OBDH 2.0 2020]**

Os *workflows* nos repositórios da missão são organizados em duas etapas distintas, separadas em Pré-Execução e Execução propriamente dita, descritos nas seções 4.2 e 4.3, respectivamente.

### 4.2. Pré-Execução

Na etapa de Pré-Execução, são realizadas algumas tarefas para preparar o *workflow*. Configurações iniciais, como escolha de sistema operacional e download e instalação

de pacotes necessários foram omitidas, por se tratarem de configuração padrão da ferramenta, e não tem relevância para a execução do modelo desenvolvido.

A primeira tarefa é a elaboração de uma *Job Matrix*, que se trata de uma estrutura de dados empregada pela ferramenta para estabelecer um conjunto de *jobs*, como são chamadas as ações da ferramenta. Um exemplo *job*, no contexto do FloripaSat-2, seria um teste a ser executado. A *Job Matrix* é utilizada, então, para dividir o *workflow* de modo que cada arquivo de teste seja encapsulado em uma sub-tarefa distinta, que são executadas de maneira paralela. Optou-se por esse modelo como maneira de garantir execução e análise eficientes de e de maneira independente. As tabelas 1 e 2 apresentam uma comparação entre as execuções do workflow no repositório do OBDH 2.0 atual, e uma versão sequencial implementada especialmente para este teste.

| **Modo de Execução** | **Min** | **Max** | **Média** |
|---|---|---|---|
| Sequencial | 38 | 69 | 50.27 |
| Paralela (Job Matrix) | 74 | 434[1] | 128 |

**Tabela 1. Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *drivers* do OBDH 2.0**

.

| **Modo de Execução** | **Min** | **Max** | **Média** |
|---|---|---|---|
| Sequencial | 27 | 79 | 47.2 |
| Paralela (*Job Matrix*) | 57 | 105 | 72.8 |

**Tabela 2. Tabela comparativa de tempos de exeução em segundos do workflow de testes unitários dos *devices* do OBDH 2.0**

.

### 4.3. Execução

Após as configurações realizadas na etapa de Pré-Execução, o *workflow* realiza a compilação e a execução dos arquivos listados anteriormente, localizados no arquivo *.json* gerado.

Para efeitos de ilustração, assumiremos um commit na branch *dev_firmware* do repositório do OBDH 2 como evento, que aciona a execução de um *worklow*.

Após a etapa de Pré-Execução, todos os arquivos de teste dos *drivers* e *devices* do OBDH 2.0 estarão listados no arquivo *.json*, e a *Job Matrix* estará populada com os nomes e os caminhos de cada um deles. Cada entrada na matriz é, então, dividida em uma sub tarefa.

Como cada tarefa é encarada como um *workflow* distinto sob o ponto de vista de execução, todas elas precisam realizar algumas configurações iniciais como as descritas anteriormente, de download e instalação de bibliotecas. Após isso, o teste é compilado, e

[1] O tempo de duração de 434 segundos foi possivelmente uma anomalia decorrente de alguma instabilidade na plataforma, visto que nenhuma das outras 10 execuções desse mesmo módulo apresentou valores próximos a este. Para fins de comparação, foi realizada uma nova medição desse mesmo workflow, e a média recalculada descartando o valor anômalo foi de 97.4 segundos.

o binário gerado é executado. Ao final da execução, um registro com informações sobre o *workflow* é gerado.

Caso algum dos testes apresente falha, o *workflow* registrará um erro de execução, mas isso ocorrerá apenas após a finalização de todos os testes.

A figura 5 ilustra um fluxo de execuções seguindo as etapas discutidas nas últimas seções.

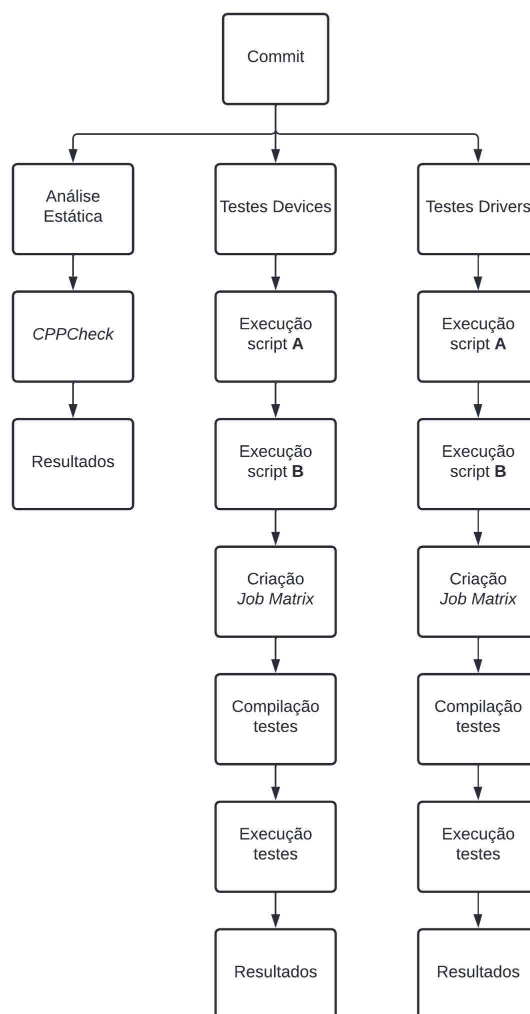



**Figura 5. Fluxo de execução do modelo de automação. Fonte: o autor.**

# 5. Resultados

## 5.1. Execuções

Como descrito anteriormente, os processos de automação são executados a cada atualização do repositório em *branches* específicas, como as de desenvolvimento e a *master*. Consequentemente, durante a evolução da missão, eles são executados múltiplas vezes. As próximas seções trazem algumas das informações relevantes que puderam ser observadas nos repositórios onde os testes automatizados estão consolidados e sendo executados constantemente.

Os dados apresentados nas tabelas seguintes foram coletados do momento em que os *workflows* foram implementados, até o dia 30/06/2022. As seções a seguir apresentam mais detalhes sobre os respectivos subsistemas.

### 5.2. OBDH 2.0

No repositório do OBDH 2, os *workflows* de automação foram disponibilizados em abril de 2022, e foram executados 450 vezes, das quais cerca de 10%, 44 resultaram em falhas, que em sua grande maioria representaram algum erro, falha ou defeito no código implementado.

A tabela 3 Indica apresenta a relação entre as execuções e as falhas dos *workflows* do OBDH 2.

**Tabela 3. Execuções individuais de *workflows* no OBDH 2.0. Fonte: [OBDH 2.0 2020]**

| Workflow | Total | Falhas |
|---|---|---|
| Build LaTeX Documentation | 21 | 1 |
| Devices Unit Tests | 113 | 3 |
| Drivers Unit Tests | 112 | 16 |
| Static Analysis | 126 | 6 |
| Pages Build | 3 | 0 |
| *Não categorizados*[2] | 75 | 18 |
| **Total** | **450** | **44** |

## 6. EPS 2.0

No repositório do subsistema EPS, desde o momento da implementação dos *workflows* até o dia 30/06/2022, houveram 77 execuções, das quais 15 resultaram em falhas, apresentando cerca de 20% de taxa de falhas. A diferença nos números se dá por alguns fatores. O menor número de execuções, se dá pelo fato de o repositório do OBDH é mais frequentemente atualizado do que o EPS, e quantidade de testes que falham neste é maior possivelmente pelo fato de que está em um estágio de desenvolvimento mais inicial do que o OBDH.

Do mesmo modo, em sua grande maioria os testes que falharam apontaram problemas na implementação dos componentes do subsistema.

No EPS, o teste do device *TTC*, responsável por fazer a comunicação entre os dois módulos, apresentou um comportamento inesperado na execução do algoritmo *crc* para detecção de erros nas mensagens recebidas. A execução do teste contribuiu para a detecção do erro, que no momento da escrita desta monografia, está em processo de ser corrigido pelos desenvolvedores.

A Tabela 4 apresenta a relação entre execuções e falhas dos *workflows* do EPS 2.0.

[2] Alguns meses após a implementação, os *workflows* do OBDH 2 foram categorizados segundo as suas funções, como a Tabela 3 representa. As execuções anteriores à essa divisão são apresentadas na plataforma como sem classificação.

**Tabela 4. Execuções individuais de *workflows* no EPS 2.0. Fonte: [EPS 2.0 2020]**

| Workflow | Total | Falhas |
|---|---|---|
| Test Worklow | 77 | 15 |

## 7. Considerações Finais

É possível verificar a importância da execução destes *workflows*, que permitem a centralização e a transparência dos testes escritos, de uma forma que seja facilmente identificável quando um erro de implementação ocorra, e igualmente fácil a todos os desenvolvedores analisarem e terem a oportunidade de contribuir com a identificação e correção dos erros.

Exemplos práticos dessa vantagem foram visualizados nos repositórios do OBDH 2.0 e do EPS 2.0, onde os testes automatizados possibilitaram a descoberta e correção de erros e defeitos na implementação dos mesmos.

Além disso, publicações e entregas de código podem ser agilizadas, sendo que uma vez que os testes já estejam escritos e implementados no repositório, os *commits* podem ser feitos de forma experimental, e o *workflow* apresentaria um relatório, apontando se e quais falhas foram implementadas. Dessa forma a responsabilidade de testar as alterações é retirada do desenvolvedor e centralizada no repositório. Os autores [Kinsman et al. 2021] relatam que repositórios que contam com *workflows* de automação apresentam menor assiduidade de *merge requests*, ao mesmo tempo que aumentam a qualidade dos mesmos. A longo prazo, essa estatística será benéfica para a missão, que produzirá código de maior qualidade, ainda que a uma frequência reduzida.

Como identificado na Seção 5, nos últimos 12 meses os *workflows* de automatização foram executados, em conjunto, cerca de 500 vezes. Em sua maioria, os testes foram finalizados com sucesso, o que pode ser encarado como um grau aceitável de confiabilidade. Os *workflows* que falharam, que representam cerca de 10% do total, foram importantes para apresentar problemas nas implementações dos subsistemas, que foram ou estão sendo corrigidos durante o desenvolvimento da missão.

Esses dados destacam o caráter benéfico da utilização de *workflows* de testes automatizados na missão FloripaSat-2. Durante o projeto e implementação do modelo, e durante o tempo empregado para estudar seu uso, não foram identificados pontos negativos sobre seu uso, apesar de que algumas melhorias e atualizações são encorajadas, de modo a potencializar o impacto positivo na missão. Algumas dessas possibilidades são sugeridas na forma de trabalhos futuros, descritas na Seção 8

## 8. Trabalhos Futuros

### 8.1. Testes de Integração

Apesar deste trabalho manter seu foco em testes de *software*, sugere-se explorar possibilidades de utilizar a ferramenta GitHub Actions para automatizar testes de integração, gravando e executando o código no *hardware* do satélite. Para esse efeito, deve ser estabelecida uma máquina física para hospedar os *workflows*, já que será necessária uma conexão física com o *hardware* para realizar compilação e a gravação do *firmware* nas placas. Este trabalho permitiria verificar a compatibilidade do *firmware* como *hardware*,

investigando possiveis erros de compilação e interação entre os subsistemas, automatizando uma das etapas fundamentais do desenvolvimento e projeto de CPS.

### 8.2. FlatSat

Uma das etapas descritas no plano de desenvolvimento do FloripaSat-2 é o teste no modelo FlatSat, onde os subsistemas do satélite são conectado para simular a execução e interação final entre os módulo. Uma possível ideia de expansão do projeto é desenvolver um *workflow* para monitorar e analisar esses testes de maneira remota, sem que seja necessário dedicação constante à montagem, que estará sendo lidada pela ferramenta de automação.

### 8.3. Análise e Interpretação de Dados

A análise sistemática das execuções dos *workflows*, em especial os casos onde erros foram encontrados e subsequentemente corrigidos, possivelmente beneficiariam a missão se fornecerem a geração de relatórios de uso e execução, podendo permitir aos desenvolvedores analisar, por exemplo, quais testes executam e/ou falham com mais frequência, auxiliando no direcionamento de foco e definição de prioridades do projeto.

Outra questão que pode ser de interesse da missão em termos de análise seria, a partir de fontes como [Kinsman et al. 2021] e [Malaiya et al. 2002], realizar um levantamento do impacto do uso de testes automatizados na confiabilidade da missão de forma geral, de modo a obter dados empíricos sobre a utilidade do modelo.

### 8.4. Containerização

O ambiente modelado é dependente do GitHub. Esse fato pode representar um risco, caso a plataforma de hospedagem for alterada, os scripts de automação deixarão de funcionar corretamente. Uma forma de contornar esse risco pode ser explorada com o uso de containers. Containers são similares à maquinas virtuais, com a vantagem de não consumirem tanto tempo e recursos como VMs convencionais, enquanto seguem os mesmos princípios de virtualização. Em especial, containers oferecem a capacidade de serem interconectados [Pahl 2015]. Sugere-se como trabalho futuro explorar a containerização dos *workflows* propostos por esse trabalho, principalmente a possibilidade de transferir a execução dos testes para containers, o que possibilitaria a transferência do modelo para outras plataformas.

## Referências


Cmocka. https://api.cmocka.org/. Acessado em 14/06/2022.

Freertos. https://freertos.org/index.html. Acessado em 21/06/2022.

Alanazi, A. and Straub, J. (2019). Engineering methodology for student-driven cubesats. *Aerospace*, 6(5).

Burt, R. (2011). Distributed electrical power systems in cubesat applications. Master's thesis, Utah State University.

Canadian Space Agency - CSA (2018). What is a cubesat. asc-csa.gc.ca/eng/satellites/cubesat/what-is-a-cubesat.asp. Acessado em 30/08/2021.

Chen, M.-H., Lyu, M., and Wong, W. (2001). Effect of code coverage on software reliability measurement. *IEEE Transactions on Reliability*, 50(2):165–170.

EPS 2.0 (2020). Electrical power system 2.0. https://github.com/spacelab-ufsc/eps2. Acessado em 11/03/2022.

GitHub. Github actions. github.com/features/actions. Acessado em 01/09/2021.

Johnstone, A. (2020). *CubeSat Design Specification (1U – 12U) REV 14 CP-CDS-R14*. Cal Poly, San Luis Obispo, CA, EUA.

Kinsman, T., Wessel, M., Gerosa, M. A., and Treude, C. (2021). How do software developers use github actions to automate their workflows? In *2021 IEEE/ACM 18th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, pages 420–431.

Malaiya, Y., Li, M., Bieman, J., and Karcich, R. (2002). Software reliability growth with test coverage. *IEEE Transactions on Reliability*, 51(4):420–426.

Marcelino, G. M., Vega-Martinez, S., Seman, L. O., Kessler Slongo, L., and Bezerra, E. A. (2020). "a critical embedded system challenge: The floripasat-1 mission". *"IEEE Latin America Transactions*
, 18(02):249–256.

Monteiro, J. P., Rocha, R. M., Silva, A., Afonso, R., and Ramos, N. (2019). Integration and verification approach of istsat-1 cubesat. *Aerospace*, 6(12).

OBDH 2.0 (2020). On-board data handling 2.0. https://github.com/spacelab-ufsc/obdh2. Acessado em 11/03/2022.

Pahl, C. (2015). Containerization and the paas cloud. *IEEE Cloud Computing*, 2(3):24–31.

Panga, W., Bo, B., Meng, X., Yu, X., Guo, J., and Zhou, J. (2016). Boom of the cubesat: A statistic survey of cubesats launch in 2003–2015. In *Proceedings of the 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico*, pages 26–30.

SpaceLab - UFSC (2021). Floripasat-2 doc. https://spacelab-ufsc.github.io/floripasat2-doc/slb-fsat2-doc-v0.2.pdf. Acessado em 30/08/2021.

TTC 2.0 (2020). Tracking, telemetry & command 2.0. `https://github.com/spacelab-ufsc/ttc2`. Acessado em 11/03/2022.

Wazlawick, R. S. (2019). *Engenharia de Software: Conceitos e Práticas*. Elsevier, 2 edition.

# Anexos

# ANEXO A – *DEVICE ADC*

```
1  /*
2   * adc.c
3   *
4   * Copyright (C) 2021, SpaceLab.
5   *
6   * This file is part of EPS 2.0.
7   *
8   * EPS 2.0 is free software: you can redistribute it and/or modify
9   * it under the terms of the GNU General Public License as published by
10  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
11  * (at your option) any later version.
12  *
13  * EPS 2.0 is distributed in the hope that it will be useful,
14  * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
15  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
16  * GNU General Public License for more details.
17  *
18  * You should have received a copy of the GNU General Public License
19  * along with EPS 2.0. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
20  *
21  */
22
23 /**
24  * \brief ADC driver implementation.
25  *
26  * \author Gabriel Mariano Marcelino <gabriel.mm8@gmail.com>
27  *
28  * \version 0.2.20
29  *
30  * \date 2021/06/11
31  *
32  * \addtogroup adc
33  * \{
34  */
35
36 #include <stdbool.h>
37
38 #include <hal/gpio.h>
39 #include <hal/adc10_a.h>
40 #include <hal/adc12_a.h>
41 #include <hal/ref.h>
42 #include <hal/tlv.h>
43
44 #include <config/config.h>
45 #include <system/sys_log/sys_log.h>
```

```
46
47 #include "adc.h"
48
49 bool adc_is_ready = false;
50
51 float adc_mref = 0;
52 float adc_nref = 0;
53
54 uint8_t adc_cal_bytes;
55 struct s_TLV_ADC_Cal_Data *adc_cal_data;
56
57 int adc_init(adc_port_t port, adc_config_t config)
58 {
59     if (adc_is_ready)
60     {
61     #if CONFIG_DRIVERS_DEBUG_ENABLED == 1
62         sys_log_print_event_from_module(SYS_LOG_WARNING, ADC_MODULE_NAME
       , "ADC driver already initialized!");
63         sys_log_new_line();
64     #endif /* CONFIG_DRIVERS_DEBUG_ENABLED */
65         return 0;
66     }
67
68     /* Set port 6 and 7 pins as inputs */
69     GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionInputPin(GPIO_PORT_P6, GPIO_PIN0 |
        GPIO_PIN1 | GPIO_PIN2 | GPIO_PIN3 | GPIO_PIN4 | GPIO_PIN5 |
       GPIO_PIN6 | GPIO_PIN7);
70     GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionInputPin(GPIO_PORT_P7, GPIO_PIN4 |
        GPIO_PIN5 | GPIO_PIN6 | GPIO_PIN7);
71
72     ADC12_A_init(ADC12_A_BASE, ADC12_A_SAMPLEHOLDSOURCE_SC,
       ADC12_A_CLOCKSOURCE_ADC12OSC, ADC12_A_CLOCKDIVIDER_1);
73
74     ADC12_A_enable(ADC12_A_BASE);
75
76     ADC12_A_setupSamplingTimer(ADC12_A_BASE,
       ADC12_A_CYCLEHOLD_768_CYCLES, ADC12_A_CYCLEHOLD_4_CYCLES,
       ADC12_A_MULTIPLESAMPLESDISABLE);
77
78     ADC12_A_configureMemoryParam param = {0};
79
80     /* Temperature sensor */
81     param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_0;
82     param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_TEMPSENSOR;
83     param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_INT;
84     param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
85     param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
```

```
86    ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
87
88    /* Solar Panel -Y current sensor */
89    param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_1;
90    param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A0;
91    param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
92    param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
93    param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
94    ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
95
96    /* Solar Panel +X current sensor */
97    param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_2;
98    param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A1;
99    param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
100   param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
101   param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
102   ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
103
104   /* Solar Panel -X current sensor */
105   param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_3;
106   param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A2;
107   param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
108   param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
109   param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
110   ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
111
112   /* Solar Panel +Z current sensor */
113   param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_4;
114   param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A3;
115   param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
116   param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
117   param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
118   ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
119
120   /* Solar Panel -Z current sensor */
121   param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_5;
122   param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A4;
123   param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
124   param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
125   param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
126   ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
127
128   /* Solar Panel +Y current sensor */
129   param.memoryBufferControlIndex          = ADC12_A_MEMORY_6;
130   param.inputSourceSelect                 = ADC12_A_INPUT_A5;
131   param.positiveRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
132   param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
```

```
133     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
134     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
135 
136     /* TTC/EPS regulator current sensor */
137     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_7;
138     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A6;
139     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
140     param.negativeRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
141     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
142     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
143 
144     /* Main bus voltage sensor */
145     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_10;
146     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A7;
147     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
148     param.negativeRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
149     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
150     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
151 
152     /* Solar Panel -Y/+X voltage sensor */
153     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_12;
154     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A12;
155     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
156     param.negativeRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
157     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
158     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
159 
160     /* Solar Panel -X/+Z voltage sensor */
161     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_13;
162     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A13;
163     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
164     param.negativeRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
165     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
166     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
167 
168     /* Solar Panel -Z/+Y voltage sensor */
169     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_14;
170     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A14;
171     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
172     param.negativeRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
173     param.endOfSequence                         = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
174     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
175 
176     /* Solar Panel total voltage sensor */
177     param.memoryBufferControlIndex              = ADC12_A_MEMORY_15;
178     param.inputSourceSelect                     = ADC12_A_INPUT_A15;
179     param.positiveRefVoltageSourceSelect        = ADC12_A_VREFPOS_EXT;
```

```
180     param.negativeRefVoltageSourceSelect    = ADC12_A_VREFNEG_AVSS;
181     param.endOfSequence                     = ADC12_A_NOTENDOFSEQUENCE;
182     ADC12_A_configureMemory(ADC12_A_BASE, &param);
183
184     ADC12_A_clearInterrupt(ADC12_A_BASE, ADC12_A_IFG0 | ADC12_A_IFG1 |
        ADC12_A_IFG2 | ADC12_A_IFG3 | ADC12_A_IFG4 | ADC12_A_IFG5 |
        ADC12_A_IFG6 | ADC12_A_IFG7 | ADC12_A_IFG10 | ADC12_A_IFG12 |
        ADC12_A_IFG13 | ADC12_A_IFG14 | ADC12_A_IFG15);
185
186     uint8_t i = 0;
187     for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
188     {
189         if (REF_ACTIVE != Ref_isRefGenBusy(REF_BASE))
190         {
191             break;
192         }
193
194         adc_delay_ms(1);
195     }
196
197     Ref_setReferenceVoltage(REF_BASE, REF_VREF1_5V);
198
199     Ref_enableReferenceVoltage(REF_BASE);
200
201     Ref_enableTempSensor(REF_BASE);
202
203     adc_delay_ms(10);
204
205     /* Temperature sensor calibration data */
206     TLV_getInfo(TLV_TAG_ADCCAL, 0, &adc_cal_bytes, (uint16_t **)&
        adc_cal_data);
207
208     adc_mref = ((float)(adc_cal_data->adc_ref15_85_temp - adc_cal_data->
        adc_ref15_30_temp)) / (85 - 30);
209     adc_nref = adc_cal_data->adc_ref15_85_temp - adc_mref * 85;
210
211     /* Mutex initialization */
212     adc_mutex_create();
213
214     adc_is_ready = true;
215
216     return 0;
217 }
218
219 int adc_read(adc_port_t port, uint16_t *val)
220 {
221     uint8_t i = 0;
```

```
222     for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
223     {
224         if (!ADC12_A_isBusy(ADC12_A_BASE))
225         {
226             break;
227         }
228 
229         adc_delay_ms(1);
230     }
231 
232     *val = 0xffff;
233     // Symbol 'UINT16_MAX' could not be resolved - Semantic Error
234     // *val = UINT16_MAX;
235 
236     if (i == ADC_TIMOUT_MS)
237     {
238         return -1;  /* Timeout reached */
239     }
240 
241     switch(port)
242     {
243         case ADC_PORT_0:
244             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_0,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
245 
246             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
247             {
248                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG0))
249                 {
250                     break;
251                 }
252 
253                 adc_delay_ms(1);
254             }
255 
256             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
257             {
258                 return -1;  /* Timeout reached */
259             }
260 
261             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_0);
262 
263             break;
264         case ADC_PORT_1:
265             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_1,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
```

```
266
267             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
268             {
269                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG1))
270                 {
271                     break;
272                 }
273
274                 adc_delay_ms(1);
275             }
276
277             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
278             {
279                 return -1;  /* Timeout reached */
280             }
281
282             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_1);
283
284             break;
285         case ADC_PORT_2:
286             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_2,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
287
288             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
289             {
290                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG2))
291                 {
292                     break;
293                 }
294
295                 adc_delay_ms(1);
296             }
297
298             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
299             {
300                 return -1;  /* Timeout reached */
301             }
302
303             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_2);
304
305             break;
306         case ADC_PORT_3:
307             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_3,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
308
```

```
309             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
310             {
311                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG3))
312                 {
313                     break;
314                 }
315 
316                 adc_delay_ms(1);
317             }
318 
319             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
320             {
321                 return -1;  /* Timeout reached */
322             }
323 
324             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_3);
325 
326             break;
327         case ADC_PORT_4:
328             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_4,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
329 
330             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
331             {
332                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG4))
333                 {
334                     break;
335                 }
336 
337                 adc_delay_ms(1);
338             }
339 
340             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
341             {
342                 return -1;  /* Timeout reached */
343             }
344 
345             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_4);
346 
347             break;
348         case ADC_PORT_5:
349             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_5,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
350 
351             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
```

```
352             {
353                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG5))
354                 {
355                     break;
356                 }
357 
358                 adc_delay_ms(1);
359             }
360 
361             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
362             {
363                 return -1;  /* Timeout reached */
364             }
365 
366             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_5);
367 
368             break;
369         case ADC_PORT_6:
370             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_6,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
371 
372             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
373             {
374                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG6))
375                 {
376                     break;
377                 }
378 
379                 adc_delay_ms(1);
380             }
381 
382             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
383             {
384                 return -1;  /* Timeout reached */
385             }
386 
387             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_6);
388 
389             break;
390         case ADC_PORT_7:
391             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_7,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
392 
393             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
394             {
```

```
395                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG7))
396                 {
397                     break;
398                 }
399 
400                 adc_delay_ms(1);
401             }
402 
403             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
404             {
405                 return -1;  /* Timeout reached */
406             }
407 
408             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_7);
409 
410             break;
411         case ADC_PORT_8:
412             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_8,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
413 
414             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
415             {
416                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG8))
417                 {
418                     break;
419                 }
420 
421                 adc_delay_ms(1);
422             }
423 
424             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
425             {
426                 return -1;  /* Timeout reached */
427             }
428 
429             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_8);
430 
431             break;
432         case ADC_PORT_9:
433             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_9,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
434 
435             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
436             {
```

```
437                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG9))
438                 {
439                     break;
440                 }
441 
442                 adc_delay_ms(1);
443             }
444 
445             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
446             {
447                 return -1;  /* Timeout reached */
448             }
449 
450             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_9);
451 
452             break;
453         case ADC_PORT_10:
454             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_10,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
455 
456             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
457             {
458                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG10))
459                 {
460                     break;
461                 }
462 
463                 adc_delay_ms(1);
464             }
465 
466             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
467             {
468                 return -1;  /* Timeout reached */
469             }
470 
471             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_10);
472 
473             break;
474         case ADC_PORT_11:
475             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_11,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
476 
477             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
478             {
```

```
479                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG11))
480                 {
481                     break;
482                 }
483 
484                 adc_delay_ms(1);
485             }
486 
487             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
488             {
489                 return -1;  /* Timeout reached */
490             }
491 
492             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_11);
493 
494             break;
495         case ADC_PORT_12:
496             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_12,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
497 
498             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
499             {
500                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG12))
501                 {
502                     break;
503                 }
504 
505                 adc_delay_ms(1);
506             }
507 
508             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
509             {
510                 return -1;  /* Timeout reached */
511             }
512 
513             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_12);
514 
515             break;
516         case ADC_PORT_13:
517             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_13,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
518 
519             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
520             {
```

```
521                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG13))
522                 {
523                     break;
524                 }
525 
526                 adc_delay_ms(1);
527             }
528 
529             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
530             {
531                 return -1;  /* Timeout reached */
532             }
533 
534             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_13);
535 
536             break;
537         case ADC_PORT_14:
538             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_14,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
539 
540             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
541             {
542                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG14))
543                 {
544                     break;
545                 }
546 
547                 adc_delay_ms(1);
548             }
549 
550             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
551             {
552                 return -1;  /* Timeout reached */
553             }
554 
555             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_14);
556 
557             break;
558         case ADC_PORT_15:
559             ADC12_A_startConversion(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_15,
    ADC12_A_SINGLECHANNEL);
560 
561             for(i=0; i<ADC_TIMOUT_MS; i++)
562             {
```

```
563                 if (ADC12_A_getInterruptStatus(ADC12_A_BASE,
    ADC12_A_IFG15))
564                 {
565                     break;
566                 }
567 
568                 adc_delay_ms(1);
569             }
570 
571             if (i == ADC_TIMOUT_MS)
572             {
573                 return -1;  /* Timeout reached */
574             }
575 
576             *val = ADC12_A_getResults(ADC12_A_BASE, ADC12_A_MEMORY_15);
577 
578             break;
579         default:
580         #if CONFIG_DRIVERS_DEBUG_ENABLED == 1
581             sys_log_print_event_from_module(SYS_LOG_ERROR,
    ADC_MODULE_NAME, "Error reading the ADC port ");
582             sys_log_print_uint(port);
583             sys_log_print_msg("! Invalid port!");
584             sys_log_new_line();
585         #endif /* CONFIG_DRIVERS_DEBUG_ENABLED */
586             return -1;
587     }
588 
589     ADC12_A_clearInterrupt(ADC12_A_BASE, ADC12_A_IFG0 | ADC12_A_IFG1 |
    ADC12_A_IFG2 | ADC12_A_IFG3 | ADC12_A_IFG4 | ADC12_A_IFG5 |
    ADC12_A_IFG6 | ADC12_A_IFG7 | ADC12_A_IFG10 | ADC12_A_IFG12 |
    ADC12_A_IFG13 | ADC12_A_IFG14 | ADC12_A_IFG15);
590 
591     return 0;
592 }
593 
594 float adc_temp_get_mref(void)
595 {
596     return adc_mref;
597 }
598 
599 float adc_temp_get_nref(void)
600 {
601     return adc_nref;
602 }
603 
604 /** \} End of adc group */
```