

## Estudo e Implementação de um Sistema de Comunicação I2C entre OBC e Carga Útil para o Programa NanosatC-BR

CAMARGO, L.<sup>1,2</sup>, BOSCOLO, G.<sup>3</sup>, ESSADO, M.<sup>4</sup>, GOMES, C. <sup>1</sup>, LIMA, J.<sup>1</sup>,  
MATTIELLO-FRANCISCO, F. <sup>1</sup>, DURÃO, O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Aluno de Mestrado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

<sup>4</sup>EMSISTI Sistemas Espaciais & Tecnologia, São José dos Campos, SP, Brasil

lazarocamargo@inpe.br

**Resumo.** O artigo apresenta o estudo e implementação de um sistema de comunicação I2C entre a OBC (on-board computer) e carga útil ISLP - Sonda de Langmuir para o Programa NanosatC-BR –Desenvolvimento de Cubesats, realizado durante mini estágio do Curso de Inverno ETE/INPE 2017. Com o objetivo de fornecer ao aluno um aprofundamento na área de Sistemas Espaciais o trabalho foi executado conforme as etapas: pesquisa, análise, execução e documentação das práticas realizadas. O resultado do trabalho é um conjunto de testes e simulações no que tange ao princípio de funcionamento do barramento I2C, transmissão dos dados e limitações da arquitetura de comunicação. Assim, este trabalho traz algumas das lições aprendidas no período de estágio, as quais poderão ser úteis para estudos futuros e outras aplicações.

**Palavras-chave:**I2C; OBC; Cubesat; Nanossatélite, NanosatC-Br2.

### 1. Introdução

Este trabalho é fruto das atividades desenvolvidas durante mini estágio técnico por ocasião do Curso de Inverno em ETE - Engenharia e Tecnologia Espaciais do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no ano de 2017. O referido curso tem por objetivo oferecer a alunos de graduação noções básicas de Engenharia e Tecnologia Espaciais, com foco em Engenharia de Sistemas. Ainda, despertar o interesse pela área espacial, em especial pela prática acadêmica (Mestrado e Doutorado).

O curso de inverno tem duração de três semanas, sendo as duas primeiras voltadas a apresentação de palestras nas áreas de computação, ciência espacial e observação da terra e a última de aplicação prática através de mini estágio de 5 dias. Também visitas técnicas ao Laboratório de Integração e Testes -LIT, Centro de Controle de Satélites (CCS) e à Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA). O estágio prático para estudo e implementação de um sistema de simulação de comunicação I2C entre a OBC (on-board computer) e carga útil foi realizado no LabSim – Laboratório de Simulação do INPE, no âmbito do Programa NanosatC-BR-Desenvolvimento de Cubesats, mais especificamente no que diz respeito as rotinas de Operação do satélite NanosatC-BR2.

O NanosatC-Br2 consiste em um nanosatélite concebido pelo Centro Regional Sul (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, cuja missão é colocar em órbita cargas científicas e tecnológicas, para estudo e validação. Esta arquitetura é uma evolução do NanosatC-Br1, primeiro nanosatélite brasileiro lançado.

Para abordar de forma pragmática a implementação de um sistema de comunicação entre a OBC (on-board computer) e a carga útil Sonda de Langmuir (ISLP) foi utilizado o sistema de comunicação padrão I2C, que apesar de simples é muito utilizado para realizar a interface entre os dispositivos em algumas aplicações. O resultado do trabalho é um conjunto de testes e simulações no que tange ao princípio de funcionamento do barramento I2C, transmissão dos dados e limitações da arquitetura de comunicação.

## **2. Metodologia**

Para o desenvolvimento e aprofundamento do tema na área de Sistemas Espaciais o trabalho foi executado buscando o cumprimento das atividades previstas para pesquisa, análise, execução e documentação das práticas realizadas.

As atividades consistiram em:

- a) Realizar um estudo do microcontrolador STM32F103CT6, e da placa de desenvolvimento;
- b) Montar a primeira placa STM32F103C8T6 no protoboard;
- c) Realizar um estudo da linguagem de programação C usando a plataforma de programação MBED para micro controlador ARM;
- d) Testar o ambiente de desenvolvimento (hardware e software), acionando o LED existente na placa STM32, e comunicação serial com o PC;
- e) Montar a segunda placa STM32F103C8T6, e repetir o item (d);
- f) Realizar um estudo do barramento I2C, e dos comandos da carga útil escolhida para o trabalho (ISLP).

Os materiais e métodos utilizados nos testes e simulações para estudo do princípio de funcionamento do barramento I2C, da transmissão dos dados e limitações da arquitetura de comunicação são detalhados a seguir.

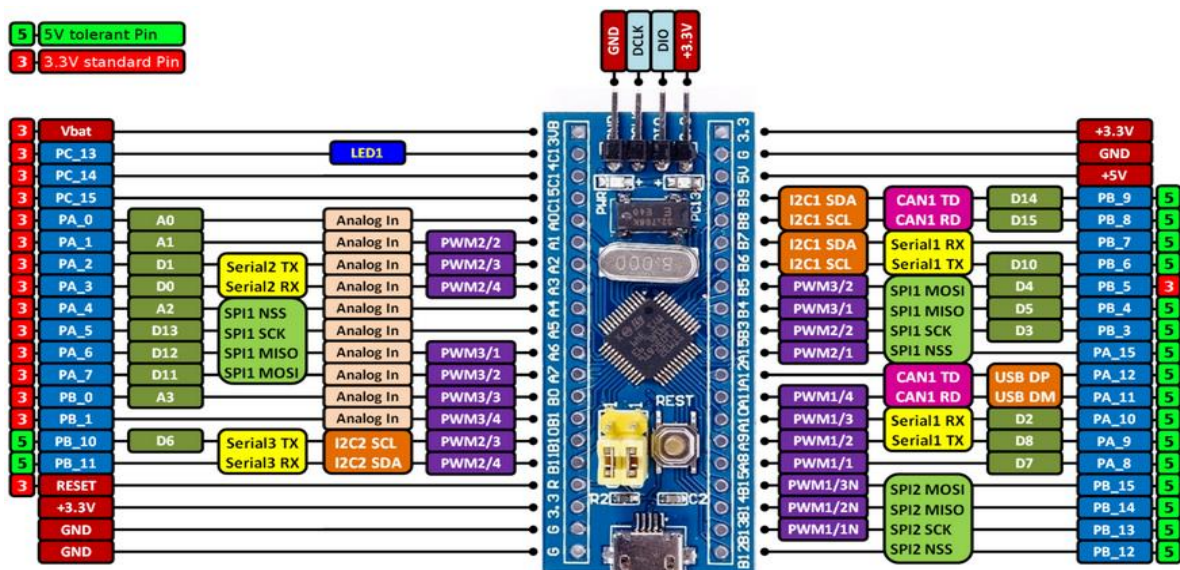
- Hardware
- ✓ 02 placas de desenvolvimento STM32F103C8T6
- ✓ 01 programador in-circuit debugger ST-LINK V2
- ✓ 01 interfaces serial USB-TTL (3V3)
- ✓ 01 Osciloscópio
- ✓ 01 hub USB – 3 portas
- ✓ Protoboard e jumpers
- ✓ Microcomputador com Win7 e conexão com internet

- Software:
- ✓ Ambiente MBED de programação (online)
- ✓ Terminal serial (Putty ou Real Term)

## 2.1. Simulação on-board computer e sonda de Langmuir

A simulação entre o on-board computer e a sonda de Langmuir foi feita com a implementação de dois microcontroladores STM32F103C8T6, que possuem diversas configurações de comunicação como por exemplo: Serial, I2C e CAN. Dispondo de uma saída USB com a qual pode-se configurá-los. Foram escolhidos dois meios, a priori serial e posteriori I2C, possibilitando estabelecer uma troca de informações entre os dispositivos e ao mesmo tempo observar o terminal do computador. Para configuração da taxa de upload (Rx) quanto para taxa de download (Tx) na interface serial e a determinação do Serial Data SDA e Serial Clock SCL no padrão I2C seguiu-se o Board pinout, conforme apresenta a Figura 01 abaixo. Este dispositivo apresentou-se muito versátil e de rápida familiaridade durante a condução do trabalho.

Figura 01. Board pinout do STM32F103C8T6

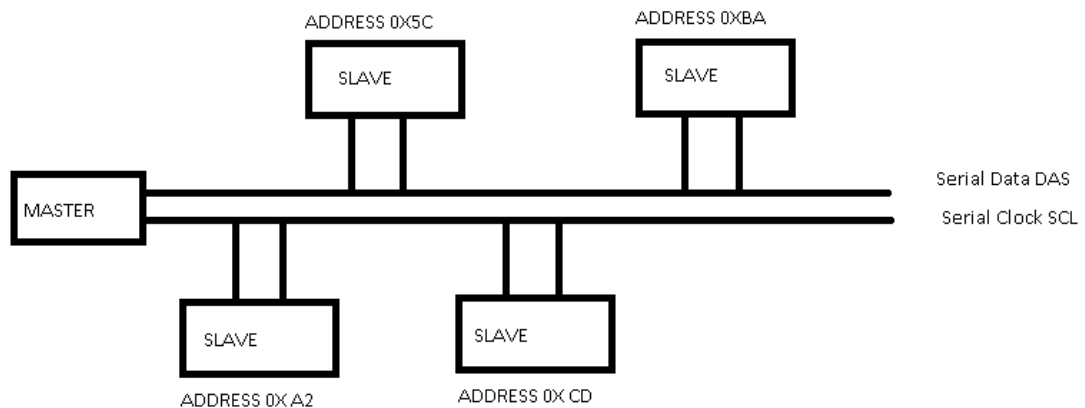


Fonte: [https://developer.mbed.org/users/hudakz/code/STM32F103C8T6\\_Hello/](https://developer.mbed.org/users/hudakz/code/STM32F103C8T6_Hello/)

## 2.2. Comunicação OBC e ISLP

A simulação da comunicação entre a OBC e a ISLP foi elaborada via barramento I2C, o qual é um padrão de comunicação que possibilita a troca de informações entre componentes padronizados com eficiência e facilidade aceitáveis. O padrão I2C é formado pelo, (Serial Data SDA e Serial Clock SCL), de forma que os dispositivos ligados a estes, possuem endereços fixos e são configurados para transmitir ou receber informações, assumindo assim o papel de Mestre ou Escravo. A Figura 02 apresenta o diagrama estrutural do padrão I2C e seu detalhamento. [Microcontrolandos, 2016]

Figura 02. Diagrama do padrão I2C



Fonte: Microcontrolandos.org.br

A partir da análise do princípio de funcionamento do I2C pôde-se observar que a comunicação neste padrão só se inicia quando o mestre envia um dado no barramento (Serial Data SDA), que deve ter o tamanho de 1 byte. Caso o dispositivo que esteja recebendo o sinal não possa operar com o dado, este poderá alterar a linha do Clock (SCL), colocando-a no nível baixo, fazendo com que o mestre entre em um estado de espera. Após o processo de escrita ou leitura do byte do barramento, o dispositivo receptor gera automaticamente um sinal de reconhecimento (acknowledge).

Dentro do byte transmitido, com as informações, é reservada uma região para o endereçamento, que possui um formato de 7 bits, utilizado para especificar o dispositivo escravo a ser acessado, seguido por um bit indicador de escrita ou leitura. Os 4 bits iniciais especificam o tipo de dispositivo escravo a ser acessado, em seguida os outros 3 bits, especificam um dispositivo, o qual será acessado.

### 2.3. Carga útil ISLP

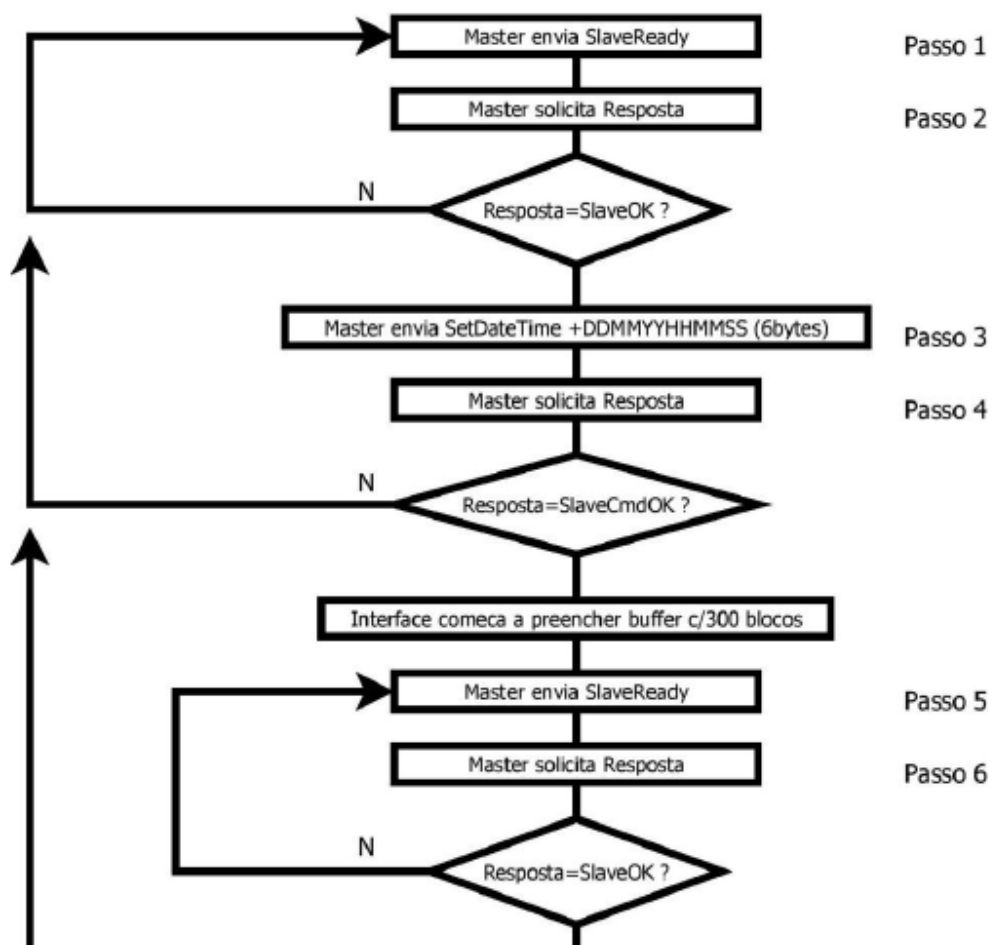
A Sonda de Langmuir (ISLP), conforme cita Almeida Pallamin, D. (2016) em seu trabalho “Modelagem da Interoperabilidade entre Computador de Bordo e Cargas Úteis do NanosatC-Br2 com apoio da Ferramenta UPPAAL e Análise & Projeto da Daughterboard do Computador de Bordo”, é um instrumento utilizado para medir a densidade numérica de elétrons, a temperatura cinética, e a distribuição espectral das irregularidades de plasma. Possui uma lógica de operação, que quando iniciada a coleta de dados, estes sejam armazenados em um buffer e após um determinado tempo enviados para o computador de bordo. [PALLAMIN, 2016]

Para saber quando os dados foram coletados, é necessário que o computador de bordo (mestre) envie um horário de start, que deve ser armazenado na sonda (escravo), sofrendo ajustes periódicos conforme medição dos dados. Ao término são enviados, para o computador de bordo, os dados coletados e o horário em que cada dado foi gerado. Foi simulada a comunicação entre o computador de bordo e a sonda de Langmuir ao se enviar um horário para inicializar as medidas de dados, e assim, armazená-los de forma a poder modificá-lo ao decorrer das medições.

## 2.4. Programação da comunicação

Após definidas a configuração do microcontrolador e estrutura do padrão de comunicação I2C, assim, a comunicação serial com o terminal do computador; utilizou-se uma interface de programação em linguagem C, para determinar as informações transmitidas do mestre para o escravo, e como este deveria se comportar após receber a informação, simulando a comunicação entre o computador de bordo e a sonda, ao ser enviado um horário para se inicializar as medidas de dados e assim armazená-los, de forma a poder modificá-los no decorrer das medições. Um fluxograma do programa implementado e seu detalhamento é apresentado na Figura 03. [HORNA, 2013].

Figura 03. Parte do fluxograma do programa que simula interação OBC e ISLP



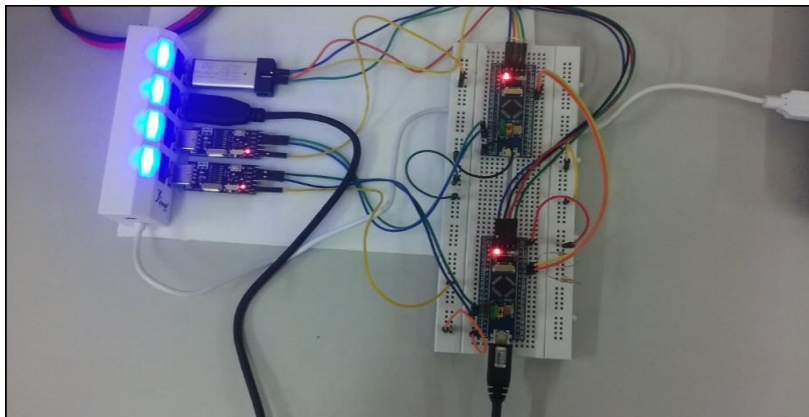
Fonte: Sonda de LANGMUIR para Cubesat NCB2, Horna (2013).

## 3. Resultados e Discussão

Durante o estudo para implementação de um sistema de comunicação I2C entre a OBC e a carga útil ISLP foram realizados alguns testes e simulações com o intuito de verificar o funcionamento e cumprimento de cada etapa de atividades previstas no trabalho.

Em um primeiro momento foi realizada a comunicação com o terminal do computador. Posteriormente foi simulada uma comunicação entre dois microcontroladores STM32F103C8T6, de forma que um deles se comportasse como mestre e o outro como escravo, fazendo o envio de dados e piscar um LED vermelho. Nesta implementação, descobriu-se que um dos pinos, o qual fornecia uma diferença de potencial de 3,3V, se encontrava com problema, este defeito fez com que fossem realizadas algumas medidas ao longo da placa, para identificar outros possíveis problemas. Nenhuma outra falha foi evidenciada. Ao consolidar a arquitetura final proposta, apresentada na Figura 04, pôde-se perceber que os dois micro controladores estão interligados nas especificações do barramento I2C e assim apresentam comunicação com o terminal do computador via a saída serial.

Figura 04. Estrutura de comunicação I2C e serial implementadas



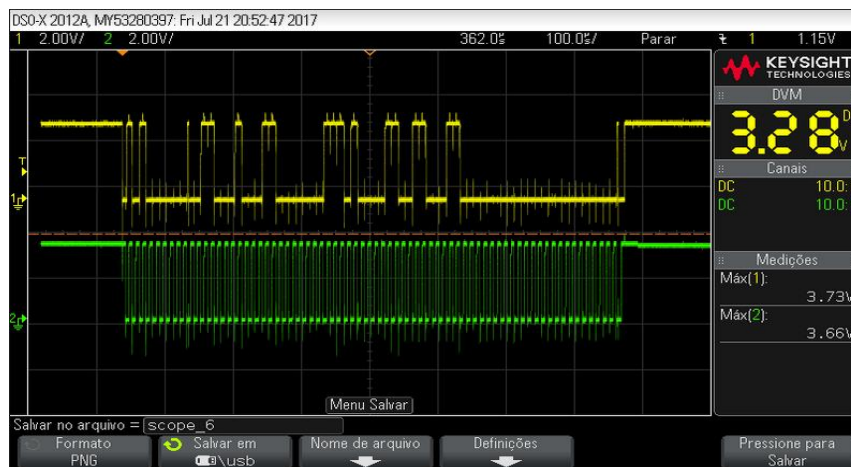
Fonte: Autor

A configuração I2C apresenta algumas restrições, como o tamanho de Byte enviado na mensagem. Quando não respeitada essa restrição, o envio de um dado do mestre para o escravo pode não ser executável de forma que o escravo entenda. Neste caso, como já citado anteriormente, o escravo altera a linha do Clock (SLC), colocando-a no nível baixo, fazendo com que o mestre entre em um estado de espera.

A simulação de uma comunicação entre a OBC e a carga Útil foi feita através de uma comunicação serial com o terminal do computador e o barramento I2C, o qual permite a troca de informações entre componentes padronizados, delegando o papel de Mestre ou Escravo para os dispositivos na comunicação. No decorrer da simulação foi observada a compatibilidade do hardware com o software, e algumas limitações apresentadas entre eles.

A comunicação I2C foi averiguada com o auxílio da interface computacional (terminal) e um osciloscópio o qual possibilitou susceptíveis medições e análises dos dados transmitidos pelo barramento (comunicação). A Figura 05 apresenta a comunicação estabelecida. Os dados representados em amarelo são transmitidos via barramento no período em que o sinal de *clock*, representado em verde, está ativo. Também é possível perceber na Figura 05 que o sinal *acknowledge*, representado no final do pacote de dados, está em nível baixo. De acordo com as especificações do padrão de comunicação I2C, comprova-se que não houve falha no envio da mensagem.

Figura 05. Dados transmitidos via estrutura estabelecida



Fonte: Autor

#### 4. Conclusão

Ao abordar de forma pragmática a implementação de um sistema de comunicação entre a OBC (on-board computer) e a carga útil Sonda de Langmuir (ISLP), utilizando o barramento de comunicação I2C, pôde-se perceber que apesar de simples, e muito utilizado no interfaceamento entre componentes para aplicações em projetos similares de nanosatélites, alguns aspectos importantes devem ser considerados. Antes de se implementar o sistema deve-se realizar alguns procedimentos de verificação para garantir que critérios e restrições sejam respeitadas, de forma a evitar possíveis falhas.

O desenvolvimento deste trabalho foi importante como exercício de aprendizado durante o Curso de Inverno/ETE do INPE, e contribuiu para sedimentar o conhecimento sobre o funcionamento do barramento I2C, transmissão dos dados e limitações da arquitetura de comunicação. No âmbito do Programa NanosatC-BR-Desenvolvimento de Cubesats, mais especificamente no que diz respeito as rotinas de Operação do satélite NanosatC-BR2 permitiram realizar um conjunto de testes e simulações.

As lições aprendidas serão úteis para estudos futuros e outras aplicações.

**Agradecimentos:** Curso de Inverno ETE/INPE e EMSISTI Sistemas Espaciais & Tecnologia, Capes, CNPq, Programa NanosatC-BR.

#### Referências

Almeida, Danilo. Modelagem da Interoperabilidade entre Computador de Bordo e Cargas Úteis do NanosatC-Br2 com apoio da Ferramenta UPPAAL e Análise & Projeto da Daughterboard do Computador de Bordo. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado da Escola de Engenharia de São Carlos, 2016.

ARMmbed. I2C Slave. Disponível em:

<<https://developer.mbed.org/questions/74050/I2CSlave/>>2017

ARMmbed.mbed-STM32F103C8. Disponível em:

<<https://developer.mbed.org/users/mega64/code/mbed-STM32F103C8/file/54b3c5994df6/api/I2C.h>>2017

Microcontrolandos. Comunicação I2C. Disponível em:

<<http://microcontrolandos.blogspot.com.br/2012/12/comunicacao-i2c.html> >2017

ARMmbed.STM32F103C8T6\_Hello. Disponível em:

<[https://developer.mbed.org/users/hudakz/code/STM32F103C8T6\\_Hello/](https://developer.mbed.org/users/hudakz/code/STM32F103C8T6_Hello/)>2017

HORNA, A. P. Experimento Sonda de Langmuir para CUBESAT NCB2. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016.

STMicroelectronics. Datasheet: STM32F103C8T6. Electronic Publication, Disponível em: <<http://www.st.com/en/embedded-software/stsw-link009.html> >2017

STMicroelectronics. STSW-LINK009. Electronic Publication. Disponível em:

<<http://www.st.com/en/embedded-software/stsw-link009.html> >2017