



PIBIC/PIBITI/ICJr
Relatório das Atividades de Pesquisa
26ª SEMIC - 2017



ATIVIDADES EXECUTADAS PELO BOLSISTA/VOLUNTÁRIO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Do bolsista:

Nome: Ian Henriques de Andrade

Curso: Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Eletrônicos

Período de vigência da bolsa: de 01/09/2016 a 31/07/2017

Tipo de bolsa: PIBIC CNPq

Do orientador:

Nome: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Unidade Acadêmica: Faculdade de Engenharia (FEN/UERJ)

Do Projeto aprovado para bolsa(s) PIBIC:

Título do Projeto: Controle de Sistemas Incertos e Sistemas Navais

Financiamento do Projeto: CNPq/FAPERJ

RELATÓRIO:

I - Título do Trabalho do Bolsista:

Rede de Embarcações Não Tripuladas: Medição de Tempos de Atraso em Redes Sem Fio

II - Principais objetivos do projeto original:

Aplicar redes de comunicação sem fios em redes de sensores e sistemas de controle. Tem-se em vista a teleoperação, o controle automático de embarcações não tripuladas e o teste de técnicas de controle de sistemas com atraso.

III - Principais etapas executadas no período da bolsa visando ao alcance dos objetivos:

Primeiramente foi iniciado o estudo de redes de comunicação sem fio para sistemas de controle, com o foco na rede *ZigBee*. Esta etapa do trabalho consistiu no estudo teórico deste tipo de comunicação e depois a realização de testes com o objetivo inicial de aumentar a taxa de comunicação, pois esse tipo de rede já havia sido utilizado nos trabalhos (MORGADO, 2016) e (ROSARIO, 2017) mas havia apresentado uma taxa de comunicação máxima de 30 Hz (pacotes de comandos enviados ao barco por segundo), que foi considerada insatisfatória.

A metodologia utilizada para medir o atraso e a taxa de comunicação consistia em configurar dois microcontroladores Arduinos UNO para se comunicarem, cada um com um módulo *ZigBee* (*XBee Pro 2 mW*)

series 2), os quais eram conectados aos Arduinos por *Shields XBee*. Um deles assumia o papel de enviar os pacotes de comunicação, este era denominado dispositivo Base. O outro recebia esses comandos, este era denominado dispositivo Remoto. Os pacotes enviados continham quatro *bytes* cada. Um osciloscópio digital possibilitava verificar o envio dos pacotes pelo dispositivo Base, a chegada dos pacotes no dispositivo Remoto e medir a temporização da comunicação.

O estudo realizado permitiu a obtenção de diversas informações sobre as limitações da rede *ZigBee*. Dentre as informações levantadas, pode-se mencionar o limite da taxa de comunicação desta rede, a confirmação de que não houve perdas de pacotes e a estimativa do seu atraso de comunicação.

Além disso, foi descoberto que o limitante da taxa de comunicação nos trabalhos (MORGADO, 2016) e (ROSÁRIO, 2017) era causado pela limitação da porta de comunicação *Universal Serial Bus* (USB), pela qual os comandos eram enviados a um dos módulos *ZigBee* e/ou pelo *software* utilizado para realizar o controle e gerar os comandos para o barco, no caso o MatLab instalado num microcomputador.

Na segunda etapa, o estudo de redes sem fio foi ampliado para módulos *Wi-Fi* (RN-XV *WiFi*, *Roving Networks*). Estes podem ser configurados para utilizar o *User Datagram Protocol* (UDP) ou *Transmission Control Protocol* (TCP). Iniciou-se então o levantamento das características e funcionamento do módulo *Wi-Fi*, para possibilitar a comparação entre as redes estudadas. Com esse objetivo, foram realizados experimentos para levantar estatisticamente o desempenho de cada rede, de forma a conhecer principalmente como se distribuía o tempo de atraso e se havia perdas de pacotes.

Os testes realizados, que estão esquematizados nas Figuras 1 e 2, consistiam no envio periódico de um comando de um módulo Base para um módulo Remoto, ambos acoplados a Arduinos UNO e interligados por fios entre duas portas digitais.

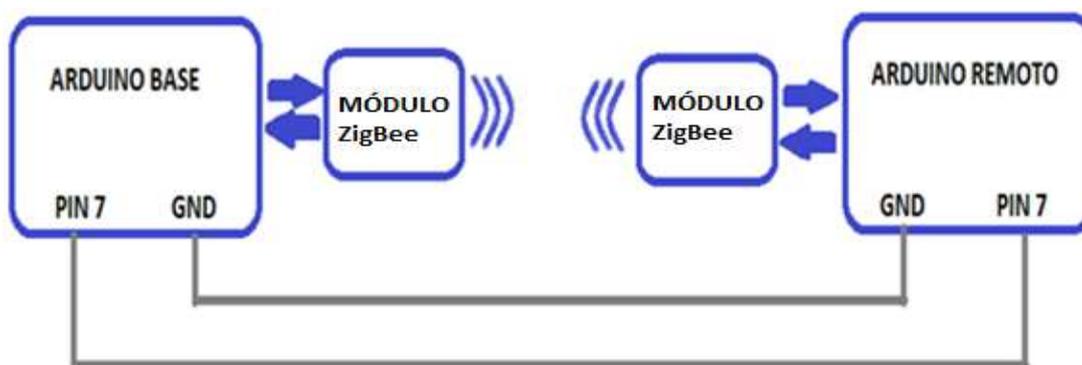


Figura 1 - Diagrama de Blocos do experimento com módulos ZigBee.

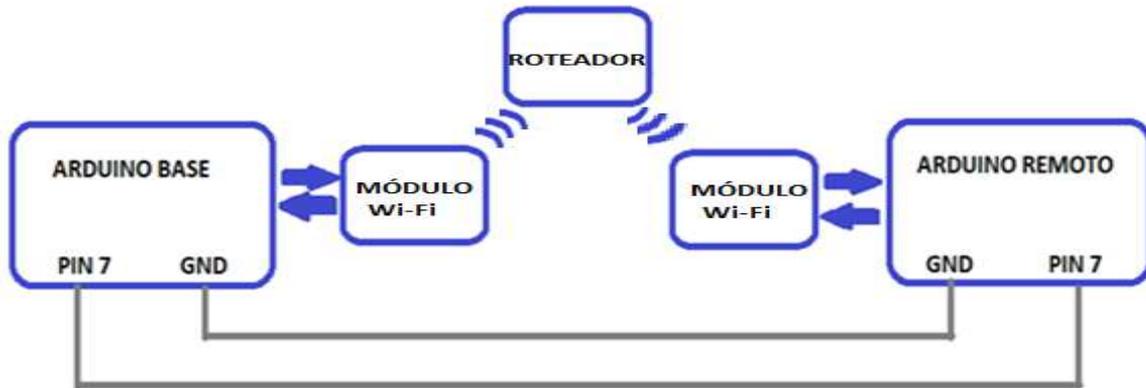


Figura 2 - Diagrama de blocos do experimento com módulos Wi-Fi.

Ao enviar um comando via rede sem fio, o Arduino Base sinalizava por meio deste elo digital por fios, então o temporizador interno do Arduino Remoto registrava este instante. Ao receber o comando via rede sem fio o Arduino Remoto registrava também o instante em que o comando foi recebido. Dessa forma é possível medir o atraso de comunicação para cada configuração. Esses tempos registrados foram exportados via porta USB para um microcomputador para posterior tratamento. A sequência dos eventos é mostrada na Figura 3.



Figura 3 - Sequência de eventos.

O tempo de atraso é dado por:

$$t_d = t_a - t_{ref} \quad (1)$$

Os testes foram repetidos três vezes para cada configuração, com uma duração de cerca de uma hora cada teste. Dessa forma, foram obtidos dados suficientes para a obtenção de boas estatísticas. As configurações de comunicação consideradas foram as seguintes: Módulos *ZigBee*, Módulos *Wi-Fi* configurados em TCP e Módulos *Wi-Fi* configurados em UDP. O roteador *Wi-Fi* utilizado foi o TP-LINK N750 modelo TL-WDR4300.

Os dados coletados permitiram o levantamento da distribuição do atraso em cada tipo de comunicação e se havia perdas de pacotes. Essas estatísticas realizadas servirão de base para a escolha do tipo de rede sem fio a ser utilizada para o prosseguimento do trabalho, visto que o conhecimento dessas informações é importante

para a modelagem e o projeto de sistemas de controle. As Figuras 4 e 5 mostram a distribuição do tempo de atraso do módulo *ZigBee* e do módulo *Wi-Fi* utilizando UDP, respectivamente.

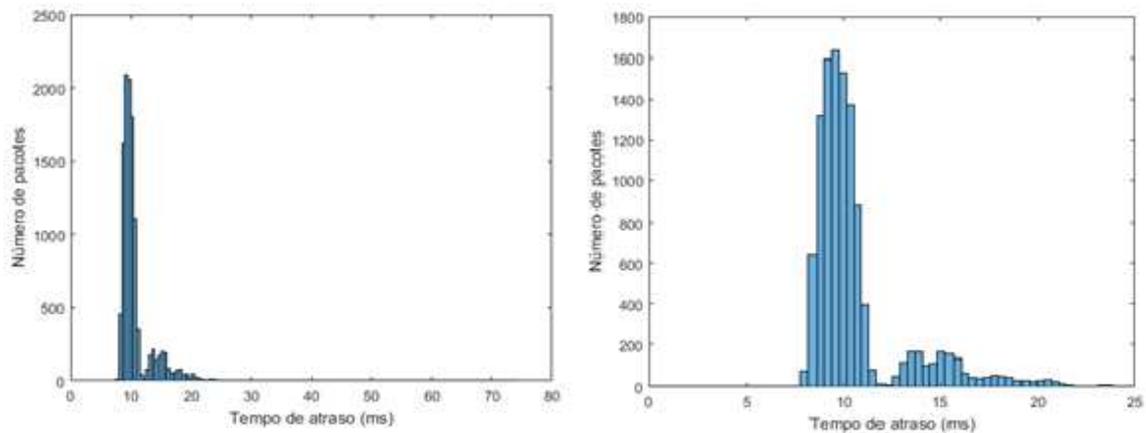


Figura 4- Histograma completo (esq.) e ampliado (dir.) da distribuição do tempo de atraso dos módulos *ZigBee*.

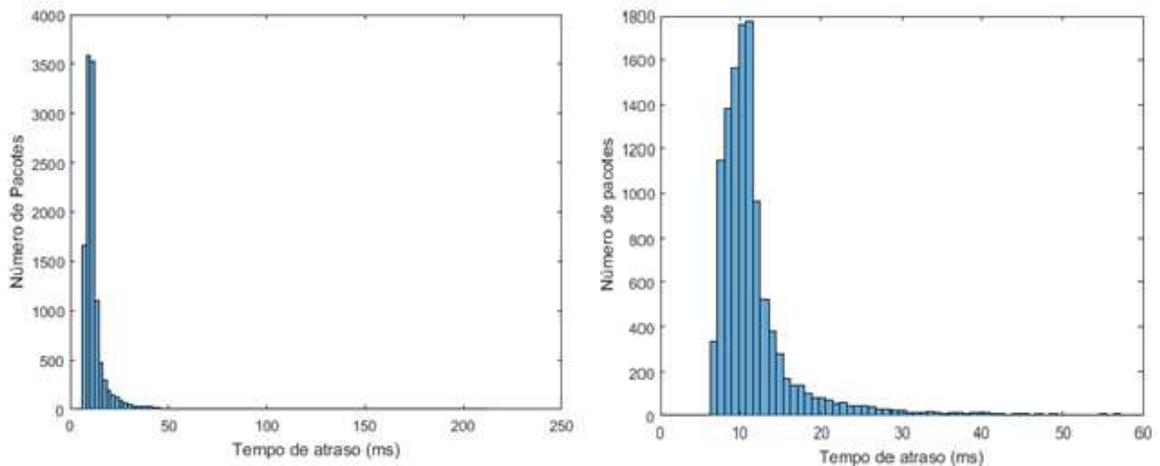


Figura 5 - Histograma completo (esq.) e ampliado (dir.) da distribuição do tempo de atraso dos módulos *Wi-Fi* usando UDP.

IV - Apresentação e discussão sucinta dos principais resultados obtidos:

Foi realizado o estudo e a medição dos atrasos em redes sem fio *ZigBee* e *Wi-Fi* utilizando microcontroladores Arduino. Isso possibilitou conhecer quantitativamente as características de cada tipo de comunicação sem fio testada, o que será considerado para o desenvolvimento do controle de embarcações que estão em desenvolvimento no Laboratório de Controle e Automação (LCA) da UERJ.

Após a análise estatística dos dados coletados, é possível inferir que cada configuração tem seus prós e contras que são descritos a seguir:

1. A rede *ZigBee* pode ser utilizada principalmente para finalidades em que não se admite perdas de pacotes e seja necessária uma comunicação com atrasos de comunicação menos variáveis, porém que



PIBIC/PIBITI/ICJr
Relatório das Atividades de Pesquisa
26ª SEMIC - 2017



não necessite de uma taxa de comunicação muito grande, pois, como mencionado anteriormente, essa taxa será limitada pela porta USB do microcomputador.

2. A rede *Wi-Fi* utilizando UDP é recomendada quando forem toleradas perdas de pacotes e seja necessária uma alta taxa de comunicação.
3. A rede *Wi-Fi* utilizando TCP pode ser utilizada em aplicações que não admitam perdas de pacotes e que tolerem atrasos como, por exemplo, a monitoração de sensores.

V - Relacione os principais fatores negativos e positivos que interferiram na execução do projeto.

A. FATORES POSITIVOS:

Todos os componentes eletrônicos e instrumentação requeridos para a realização dos testes e o estudo estavam disponíveis no laboratório, incluindo o Arduino, os módulos de comunicação sem fio e o microcomputador onde eram realizadas as configurações necessárias. Além disso, a disponibilidade do LCA também facilitou o desenvolvimento do trabalho.

B. FATORES NEGATIVOS:

O período de greve atrasou um pouco o desenvolvimento do estudo e dos experimentos que só podiam ser realizados no LCA.

VI - Informe se houve produção científica no período:

Não houve trabalhos publicados. Os resultados completos deste primeiro ano de Iniciação Científica são descritos nos relatórios (ANDRADE, 2017a) e (ANDRADE, 2017b).

Além disso, o uso e a configuração da rede *Wi-Fi* UDP para aumentar a taxa de comunicação foram aproveitados no artigo de congresso (ROSARIO e CUNHA, 2017) para melhorar o desempenho de controladores para uma pequena embarcação.

VII - Informe se houve atividades desenvolvidas em outras IES (Instituição de Ensino Superior):

Não houve.

VIII - Autoavaliação do bolsista:

O trabalho desenvolvido no primeiro ano de Iniciação Científica foi extremamente interessante e de grande contribuição para a minha formação como engenheiro. Os resultados obtidos foram satisfatórios e servirão de



PIBIC/PIBITI/ICJr
Relatório das Atividades de Pesquisa
26ª SEMIC - 2017



base para o prosseguimento do desenvolvimento do trabalho. Além de todo conhecimento adquirido dos assuntos referentes à I.C., foi possível conciliar as atividades de I.C. com as disciplinas do curso de graduação.

IX - Avaliação do bolsista pelo orientador:

O trabalho do bolsista tem permitido aprender sobre a configuração e as características de redes de comunicação sem fio para sua aplicação em sistemas de controle. Isto tem servido de suporte à realização de outros trabalhos, por exemplo (ROSARIO e CUNHA, 2017). Além disso, os resultados obtidos experimentalmente sobre a medição de atrasos em redes sem fio e sua distribuição estatística serão úteis para o análise e o projeto de sistemas de controle em malha fechada quando atuadores e sensores são conectados por meio de redes de comunicação, atividades que estão sendo iniciadas pelo bolsista. De fato, o desempenho do bolsista superou minhas expectativas.

Rio de Janeiro, 16 de outubro de 2017.

Bolsista: Ian Henriques de Andrade

Orientador: José Paulo Vilela Soares da Cunha

Referências

ANDRADE, I. H. (2017a) Rede *ZigBee* e suas Limitações. Relatório de Iniciação Científica, UERJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/PG/2017/Relatorio-IC-2016-2017-ZigBee.pdf>.

ANDRADE, I. H. (2017b) Medições de Atrasos em Redes *Wi-Fi* e *ZigBee*. Relatório de Iniciação Científica, UERJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/PG/2017/Relatorio-IC-2016-2017-ZigBee+Wi-Fi.pdf>.

MORGADO, M. N. (2016), Modelagem, Identificação e Simulação da Dinâmica de um Pequeno Veículo Flutuante. Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase Sistemas Eletrônicos, UERJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/PG/2016/PG-Identificacao-Pequeno-Barco-2016.pdf>.

ROSARIO, R. V. C. (2017), Controle a Estrutura Variável de um Barco Empurrando uma Carga Flutuante Subatuada. Dissertação de Mestrado em Engenharia, UERJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/PG/2017/MSc-Barco-Empurrando-Carga-Flutuante-2017.pdf>.

ROSARIO, R. V. C. e CUNHA, J. P. V. S. (2017), “Experimental variable structure trajectory tracking control of a surface vessel with a motion capture system.” *In: Proc. of the 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Beijing, China. (aceito para apresentação).