

# MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA INERCIAL DE NAVEGAÇÃO (INS) PARA VEÍCULO SUBMARINO

Lucas Marins Batista<sup>1</sup>; Valéria Loureiro da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolsista e Mestrando Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais; PDI-3 EMBRAPPII; lucasmarbatista@gmail.com

<sup>2</sup>Doutora em Física; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; valeria.dasilva@fieb.org.br

## RESUMO

**Introdução.** A evolução dos sensores e robôs submarinos para a indústria é algo que vem sendo consolidado através dos anos, e o sistema inercial de navegação (INS) é um equipamento que foi desenvolvido com o objetivo de obter valores de posição mais acurados e precisos. O sensor tem seu erro associado à distância percorrida pelo veículo e foi simulado no ambiente de desenvolvimento para robótica ROS e simulador de ambiente 3D *Gazebo*, com o objetivo de identificar se o sensor, com as informações de incerteza fornecidos pelo fabricante, são suficientes para adequação dos requisitos de inspeção de um veículo robótico submarino em uma missão.

**PALAVRAS-CHAVE:** INS, Localização, Gazebo, ROS, Simulação

## 1. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos sistemas robóticos, houve a necessidade de realizar uma localização mais precisa, acurada e confiável, medindo sua posição, velocidade, aceleração e orientação de forma absoluta ou relativa. Em um ambiente subaquático, esses sensores têm uma certa limitação por não poder utilizar um sistema de geolocalização, logo necessitam de um sistema para obtenção desses dados, através de sensores acoplados ao robô<sup>1</sup>.

O equipamento tradicionalmente mais utilizado é conhecido como *Inertial Navigation System* (INS), um sistema independente que identifica a posição do robô através da fusão de dados obtidos por acelerômetros, giroscópios e medidores de velocidade associados<sup>2 3 4</sup>. No entanto, esse instrumento sofre a influência de escorregamentos e da distância percorrida, resultando no acúmulo de erro de posição e orientação cujo comportamento e limitações precisam ser melhor entendidos. Para isso serão utilizados o framework de robótica ROS (*Robot Operating System*) e o simulador de física *Gazebo*, que permitem desenvolver e empregar algoritmos e modelos 3Ds que representam a física dos sensores e o mundo real<sup>5 6</sup>.

Esse trabalho teve como objetivo a simulação e modelagem de um sistema inercial de navegação ou INS (*Inertial Navigation System*), baseado nas características inerciais do sensor e dados obtidos pela folha de dados fornecido pelo fabricante. Com esse modelo desenvolvido será possível identificar se o sensor, com as informações de incerteza fornecidos pelo fabricante, são suficientes para adequação dos requisitos do projeto em um ambiente significativo para testes.

## 2. METODOLOGIA

O ROS e *Gazebo* disponibilizam e permitem a simulação de sensores em um ambiente 3D criado por desenvolvedores para diversos tipos de sistemas robóticos, respeitando à uma física pré-determinada. A partir da utilização dessas ferramentas, foi possível desenvolver o sensor INS simulado acoplado ao veículo robótico MCCR com os parâmetros, suas incertezas de posição e orientação baseados no sistema inercial de navegação *Rovins Nano*, fornecido pelo fabricante *IxBlue*<sup>7</sup>.

Devido a influência do escorregamento e dos cálculos realizados, a incerteza associada a posição é relacionada a distância percorrida do sistema, definidas nas folhas de dados do sensor. O erro do sistema cresce ao decorrer do percurso, não sendo puramente um ruído gaussiano, mas uma soma dos ruídos. Logo, à fins de simulação do equipamento real a ser utilizado, os cálculos de posição com erro desse sensor serão realizados utilizando as seguintes variáveis:  $x$  posição sem erros calculada pelo ambiente simulado;  $d$  distância percorrida;  $x$  valor de posição medido pelo senso com ruído  $r$ ;  $w$  ruído gaussiano a ser adicionado pela distância percorrida, seguindo o algoritmo mostrado na Figura 1. Esse algoritmo foi implementado

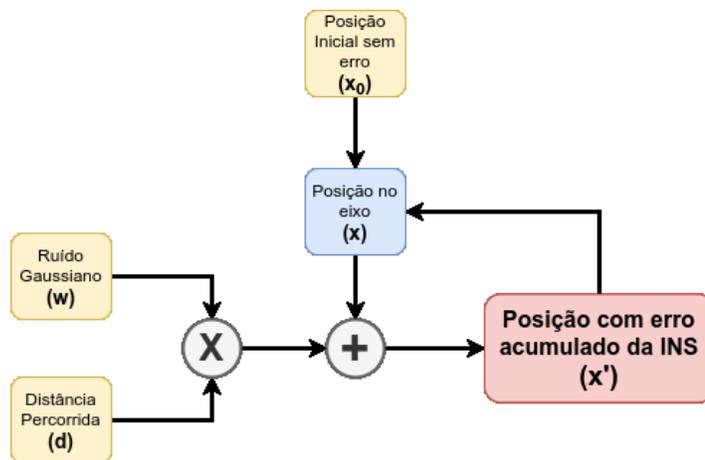


Figura 1 – Diagrama de bloco da modelagem desenvolvida para o sensor.

Para avaliação dos resultados, um código executável simulando a INS será ativado no ROS e o veículo fará um percurso em linha reta no eixo  $x$ , obtendo dados de posição sem erro do ambiente 3D do Gazebo e um mapa pré-estabelecido. Utilizando essas informações, um gráfico do erro associado por distância percorrida será criado, com o objetivo de verificar o momento que o erro ultrapassa o valor máximo definido para o projeto, utilizando um script para cálculo do erro em determinado valor de distância percorrido pelo robô. Como o MCCR é um projeto para inspeção em uma área não tão acessível, ele necessita de alta precisão para identificar corretamente os defeitos sem a influência humana, logo foi requisitado que o erro de posição não ultrapasse 0,005 m.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as devidas configurações de parâmetros de erro definidos pelo *datasheet* do *iXBlue Rovins Nano*, a simulação foi realizada de acordo com a metodologia apresentada com um movimento retilíneo e sem curvas do robô. Ao analisar o gráfico da Figura 2, o erro cresce e decresce baseado na soma do ruído gaussiano de média 0,04% da distância percorrida pelo veículo. Essa curva mantém uma tendência de crescimento em relação ao tamanho do percurso, ultrapassando o limite estipulado de erro para o projeto de 0,005m, em torno de 8,0m.

O robô deve realizar missões autônomas, percorrendo distâncias que podem variar de 5m a 100m, logo não seria recomendável o uso da INS sozinha para missões maiores que 8,0m. Era esperado que o sistema inercial de navegação ultrapassasse o máximo de erro permitido após um longo percurso, a cima de 50m, porém os resultados obtidos por esse modelo indicam o sistema inercial de navegação (INS) ultrapassaria o erro recomendado, poucos metros após início da missão de inspeção do robô. Logo, há a necessidade da correção do erro de posição que permitam uma inspeção mais precisa.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi desenvolvido um modelo e simulação no ROS e *Gazebo* do sistema inercial de navegação a ser utilizado a partir dos dados de erro associado a distância percorrida pelo sistema, disponibilizados pelo fabricante *IXBlue*. Os resultados indicaram o INS disponibiliza posição do veículo com um erro que ultrapassa o limite permitido, poucos metros após início da inspeção autônoma do MCCR. Logo, para aumentar a precisão, serão necessários outros sensores auxiliares, como odometria das rodas do veículo, e realizar a fusão de sensores como filtros de Kalman e filtro partículas.

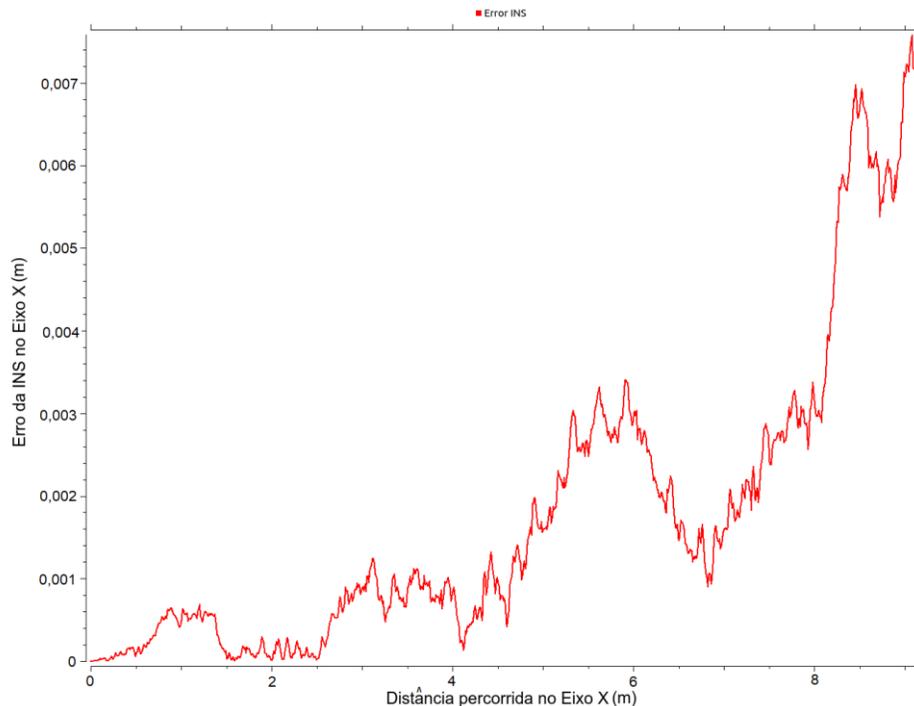


Figura 2 - Erro de posição modelado para sistema inercial de navegação.

## Agradecimentos

Agradecimentos à EMBRAPAII pelo financiamento da bolsa, à Shell e ao Eng. Rafael Barreto pelo tempo disponibilizado e grandes ensinamentos.

## 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> DONOVAN, G. T. Position error correction for an autonomous underwater vehicle inertial navigation system (INS) using a particle filter. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 37, n. 3, p. 431–445, 2012.
- <sup>2</sup> BARSHAN, B.; DURRANT-WHYTE, H. F. Inertial Navigation Systems for Mobile Robots. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 11, n. 3, p. 328–342, 1995.
- <sup>3</sup> BERKOVICH, S. B. et al. Using inertial navigation systems to monitor the motion of a train. **2017 24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2017 - Proceedings**, 2017.
- <sup>4</sup> VASYLIEV, V. M.; DOLINTSE, B. I. Integration of inertial and satellite navigation systems with using corrective circuits and filtering. **2016 IEEE 4th International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control, MSNMC 2016 - Proceedings**, p. 275–278, 2016.
- <sup>5</sup> GAZEBO. **Gazebo - Robot simulation made easy**. Disponível em: <<http://gazebosim.org/>>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- <sup>6</sup> OPEN SOURCE ROBOTICS, F. **About ROS and Open Source Robotics**. Disponível em: <<http://www.ros.org/about-ros/>>. Acesso em: 3 abr. 2020.
- <sup>7</sup> IXBLUE. **Rovins Nano iXblue**. Disponível em: <<https://www.ixblue.com/products/rovins-nano>>. Acesso em: 16 abr. 2020.